Deutscher Bundestag **Drucksache 17/6783**

17. Wahlperiode 05. 08. 2011

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Sechstes Energieforschungsprogramm der Bundesregierung – Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorung

Inhaltsverzeichnis

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie vom 3. August 2011.

Seite

Seite

Vorwort

Die Erde bietet mit ihren Vorräten an Kohle, Öl und Gas enorme Energieressourcen. Hinzu kommt die Kraft von Wasser, Wind und Sonne. Doch erst der technische Fortschritt und neue Ideen haben es vielfach ermöglicht, diese uns von der Natur gegebenen Ressourcen nachhaltig zu erschließen und zu nutzen. Die Stromerzeugung durch Wasser- oder auch Windkraft wurde beispielsweise mit der Erfindung des Dynamos durch Werner von Siemens möglich.

Innovationen und neue Technologien werden uns den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien ebnen. Es gilt, den Umbau unserer Energieversorgung kräftig zu beschleunigen. Unser Land soll eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden. Gleichzeitig muss die Versorgungssicherheit gewährleistet sein und unsere Energie bezahlbar bleiben.

Mit der energiepolitischen Neuorientierung ergeben sich auch neue Prämissen für die Energieforschung. Als Ergänzung zum Energiekonzept legt die Bundesregierung deshalb das 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ vor. Dieses Programm ist unter der Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie entstanden. Beteiligt waren das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie das Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Das 6. Energieforschungsprogramm benennt die Leitlinien für die künftige Förderung des Bundes von Forschung und Entwicklung im Energiebereich, informiert über die vorrangigen Förderbereiche und gibt einen Überblick über die von den einzelnen Ressorts eingeplanten Fördermittel. Das Programm setzt auf vielen Feldern neue Akzente. Von Bedeutung sind dabei vor allem: die klare Priorität bei der Förderung von Forschung und Entwicklung in den Bereichen „Energieeffizienz“ und „Erneuerbare Energien“, eine verstärkte ressortübergreifende Zusammenarbeit auf strategisch wichtigen Feldern, insbesondere bei den Themen „Energiespeicher“ und „Netze“, der Ausbau der internationalen Forschungszusammenarbeit sowie eine verbesserte Koordinierung und Abstimmung der Förderpolitik.

Forschung und Entwicklung sind die Voraussetzung für den Weg in eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energiezukunft. Wirtschaft und Wissenschaft in Deutschland sind jetzt gefordert, einen Beitrag zu leisten und das nächste Kapitel der Energiegeschichte zu schreiben. Die Bundesregierung unterstützt sie darin mit soliden Rahmenbedingungen und mit zusätzlichen Finanzmitteln für die Erforschung und Entwicklung moderner Energietechnologien. Nutzen Sie diese Möglichkeiten, gestalten Sie die Zukunft unserer Energie mit!

Dr. Philipp Rösler
Bundesminister für Wirtschaft und Technologie

Zusammenfassung

Die Bundesregierung legt mit dem 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ die Grundlinien und Schwerpunkte ihrer Förderpolitik für die kommenden Jahre fest. Dieses Programm bildet einen wichtigen Schritt bei der Umsetzung des Energiekonzepts vom 28. September 2010, mit dem die Bundesregierung den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien beschreiten will. Deutschland soll eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden.

Um diese Ziele zu erreichen, ergänzt die Bundesregierung ihre Energie- und Klimapolitik durch einen neuen strategischen Ansatz. Dieser Ansatz setzt auf eine verbesserte Förderung von Forschung und Entwicklung zukunftsfähiger Energietechnologien.
Das 6. Energieforschungsprogramm ist ein gemeinsames Programm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Es wurde unter der Federführung des BMWi erstellt.

Orientierungsgrundlage für das 6. Energieforschungsprogramm bildet das Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010 sowie seine Fortschreibung durch die Neubewertung der Kernenergie nach dem Erdbeben in Japan am 11. März 2011 und die dadurch ausgelösten Störfälle an Nuklearanlagen. Nach der Kabinettsentscheidung vom 6. Juni 2011 ist es Ziel, den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien noch schneller zu beschreiten und dabei gleichzeitig eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung in Deutschland zu gewährleisten. Die Energiewende ist eine politische und gesellschaftliche Gestaltungsaufgabe ersten Ranges. Dabei spielen Wissenschaft und Wirtschaft eine wichtige Rolle. Der Prozess der Energiewende ist ohne wissenschaftliche Expertise nicht denkbar.

Vor diesem Hintergrund setzt die Bundesregierung bei ihrer Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich auf vier zentralen Feldern neue Akzente:

1. **Strategische Fokussierung:** Die Fördermittel, die den Ressorts für die Unterstützung von Forschung und Entwicklung zur Verfügung stehen, werden noch deutlicher auf die Technologien und Technologiesysteme konzentriert, die für den von der Bundesregierung angestrebten Übergang Deutschlands zu einer nachhaltigen Energieversorgung wichtig sind. Damit stehen im Mittelpunkt: Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeichertechnologien und Netztechnik, Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung und das Zusammenwirken dieser Technologien im Gesamtsystem.

2. **Ressortübergreifende Zusammenarbeit:** Auf ausgewählten, für die künftige Energieversorgung Deutschlands wichtigen Feldern werden die beteiligten Ressorts gemeinsame Förderinitiativen entwickeln. Eine enge und gut verzahnte Zusammenarbeit ermöglicht es, die in den jeweiligen Ressorts vorhandenen Kernkompetenzen besser zu bündeln, Synergievorteile zu realisieren und durch den konzentrierten Einsatz von Fördermitteln die notwendigen technologischen Durchbrüche zu erzielen. BMWi, BMU und BMBF haben bereits eine gemeinsame Förderinitiative „Energiespeicher“ ins Leben gerufen. Weitere Initiativen für die Bereiche „Netze“ und „Solares Bauen – Energieeffiziente Stadt“ werden folgen. An der Schnittstelle von Forschung und Innovation kommt bei der ressortübergreifenden Zusammenarbeit auch anderen Fachressorts eine entscheidende Rolle zu, wie das am Beispiel des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in seinen Aufgabenbereichen deutlich wird.

3. **Internationale Kooperation:** Technologieentwicklungen müssen heute immer stärker aus einer globalen Perspektive bewertet werden. Die Bundesregierung trägt diesem Gedanken durch eine Verbesserung der internationalen Kooperation auf dem Gebiet der Energieforschung Rechnung. Von besonderer Bedeutung ist dabei eine stärkere Vernetzung der Forschungsarbeiten innerhalb der Europäischen Union. Die internationale Kooperation ist vor allem für Deutschland aufgrund seiner auf die Weltmärkte ausgerichteten Volkswirtschaft von größter Bedeutung. Um hier für die Zukunft die richtigen Akzente setzen zu können, wird die Bundesregierung in Gesprächen

mit Wirtschaft und Wissenschaft prüfen, wie die internationale Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien an die neuen Herausforderungen angepasst und verbessert werden kann.

4. **Abstimmung und Koordination:** Ein sich beschleunigender Trend zur Ausdifferenzierung und Spezialisierung kennzeichnet die Energieforschungsaktivitäten in Deutschland. Angesichts dieser Entwicklungsprozesse wird die „Koordinierungsplattform Energieforschung“ ausgebaut und gestärkt. Durch eine optimierte Abstimmung und Koordination unter den beteiligten Ressorts soll ein möglichst hoher Mehrwert für den aus öffentlichen Mitteln bereitgestellten „Forschungs-Euro“ geschaffen werden. Die „Koordinierungsplattform“ soll auch zu einer besseren Zusammenarbeit mit den Bundesländern und den europäischen Förderinstitutionen genutzt werden.

Die Bundesregierung ist der Auffassung, dass eine exzellente, breit angelegte und gut vernetzte – von den Grundlagen bis zur industriellen Anwendung und Demonstration reichende – Forschung und Entwicklung zu den wichtigsten Voraussetzungen gehört, neue Konzepte zu erproben, Innovationen zu beschleunigen und zukunftsfähige Energietechnologien an den Markt heranzuführen.

Das 6. Energieforschungsprogramm ist das Ergebnis eines umfangreichen Konsultationsprozesses. Es ist gut abgestimmt mit den Forschungsaktivitäten der Wirtschaft, der wissenschaftlichen Institute sowie der Energieforschung in den Bundesländern. Die Ausrichtung des Programms bezieht die Abstimmung mit den Forschungsaktivitäten der EU und mit den Partnerländern in der Internationalen Energieagentur (IEA) ein. Deutschland verfügt über eine gute Grundlagenforschung, eine leistungsfähige wissenschaftlich-technische Infrastruktur sowie eine hervorragende industrielle Energieforschung. Das belegen die überdurchschnittliche Beteiligung deutscher Partner an dem EU-Forschungsrahmenprogramm und die guten, z. T. exzellenten Bewertungen der Forschungsprogramme der Helmholtz-Gemeinschaft durch internationale Gutachter.

Die Bundesregierung fördert Forschung und Entwicklung von Technologien mit Energiebezug in einer Vielzahl von Programmen und auf breiter Front. Alle diese Maßnahmen sind Bestandteil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Das Herzstück der Technologieförderung der Bundesregierung im Energiebereich ist das Energieforschungsprogramm. Dort erfolgen die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung und die Vorgabe von Prioritäten für die „Förderpolitik“ des BMWi, BMU, BMELV und BMBF. Bei der Unterstützung von Forschung und Entwicklung kommen zwei Instrumente zum Einsatz: die „Projektförderung“ und die „institutionelle Förderung“. Die Projektförderung wird eingesetzt, um zeitlich befristete und inhaltlich klar definierte Forschungsvorhaben in Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten zu unterstützen. Charakteristisch für diese Projekte ist vor allem die relative Anwendungs- und Marktnähe. Die „institutionelle Förderung“ erfolgt im Wesentlichen im Rahmen des Fachbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft, die vom BMWi und BMBF unterstützt wird. Die Forschungseinrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft greifen typischerweise Fragestellungen auf, die eher grundlagenorientiert sind oder wegen ihrer Komplexität oder des Bedarfs an spezifischen Großgeräten am besten in Großforschungszentren bearbeitet werden können. „Projektförderung“ und „institutionelle Förderung“ ergänzen sich und wirken zusammen. Viele sehen in dieser Form der Zusammenarbeit den Grund für die hervorragende Stellung der Energieforschung in Deutschland im internationalen Vergleich.

Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung legt ein besonderes Gewicht auf eine Neuausrichtung der projektorientierten Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien. Dadurch ist es noch am ehesten möglich, flexibel zu reagieren und rasche Erfolge bei der Modernisierung der Energieversorgung Deutschlands und beim Übergang zum Zeitalter der erneuerbaren Energien zu erzielen.

Kennzeichen der künftigen Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich der Bundesregierung ist die enge Zusammenarbeit der beteiligten Ressorts auf der Grundlage der jeweiligen Fachprogramme:

→ Die Schwerpunkte der Projektförderung des BMWi im Bereich der nicht-nuklearen Technologien folgen der gesamten Energiekette und liegen vor allem auf den Feldern: energieoptimiertes Bauen, energieeffiziente Stadt, Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, Handel und bei Dienstleistungen, Energiespeicher und Netze einschließlich stromwirtschaftliche Schlüsselelemente der Elektromobilität, Kraftwerkstechnologien und CO_2-Abtrennung, Brennstoffzellen/Wasserstoff, Systemanalyse (Kapitel 3.1). Die Projektförderung des BMWi im Bereich der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung konzentriert sich auf den Erhalt und den Ausbau des wissenschaftlichen Know-hows auf diesen Gebieten (Kapitel 3.2). Im Bereich der institutionellen Energieforschung der Helmholtz-Gemeinschaft fördert das BMWi das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) auf den Gebieten der Verbrennungstechnik, der Solarenergie und der Systemanalyse (Kapitel 3.3).

→ Das BMU nutzt die Projektförderung zu einer strategisch ausgerichteten, umfassend angelegten Förderung von Forschung und Entwicklung in den Bereichen Windenergie, Photovoltaik, Geothermie, Thermische Solarenergie, Solarthermische Kraftwerke, Wasserkraft und Meeresenergie (Kapitel 4.1 bis 4.6). Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf Projekten, die einen Beitrag zur Umstellung auf ein regeneratives Energiesystem leisten (Kapitel 4.7 bis 4.8).

→ Die Projektförderung des BMELV umfasst die verschiedenen Technologien zur Nutzung der Bioenergie. Dazu gehören die festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträger. Ein wichtiger Schwerpunkt des BMELV ist die institutionelle Förderung des Deutschen BiomasseForschungsZentrums (Kapitel 5).

→ Das BMBF engagiert sich auf dem Gebiet der Grundlagenforschung. In der Projektförderung liegen die Schwerpunkte in den Bereichen Photovoltaik, Bioenergie, Windenergie und Energieeffizienz. Um langfristig Handlungsmöglichkeiten zu erhalten, fördert das BMBF auch die Kernfusion. Im Rahmen der nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung sowie der Strahlenforschung fördert das BMBF den wissenschaftlichen Nachwuchs. Damit wird der notwendige Kompetenzerhalt in Deutschland gesichert. Der BMBF ist auch zuständig für die wesentlichen Forschungsarbeiten im Fachbereich „Energie“ der Helmholtz-Gemeinschaft, die einen wichtigen Beitrag für die Exzellenz des Forschungsstandorts Deutschland leisten (Kapitel 6).

Die Bundesregierung stellt im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms für die Förderung von Forschung und Entwicklung zukunftsfähiger Energietechnologien 2011 bis 2014 rd. 3,5 Mrd. € zur Verfügung. Das entspricht gegenüber der Vergleichsperiode 2006 bis 2009 einer Steigerung um rd. 75 %. Dieser beachtliche Aufwuchs speist sich zu einem erheblichen Teil aus dem zum 1. Januar 2011 eingerichteten Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“. Die Bundesregierung stellt aus diesem Fonds zusätzliche Mittel für die Jahre 2011 bis 2014 in Höhe von 685 Mio. € bereit, die ausschließlich für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in den Bereichen „Erneuerbare Energien“ und „Energieeffizienz“ verwendet werden. Die Zukunft der staatlichen Forschungsförderung im Energiebereich gehört der Energieeffizienz und den erneuerbaren Energien. In 2014 wird die Bundesregierung fast 80 % ihres Forschungsbudgets auf diesen beiden für die künftige Energieversorgung Deutschlands wichtigen Feldern investieren.

Eine detaillierte Aufteilung des Energieforschungsbudgets des Bundes nach Ressorts und Technologiebereichen findet sich in den nachfolgenden Fachkapiteln.

Förderung von Forschung und Entwicklung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung (Tsd. Euro)					
	Ist	Soll	Plandaten[1, 2]		
	2010	2011	2012	2013	2014
Rationelle Energieumwandlung und -verwendung, Energieeffizienz					
Bundeshaushalt	210.256	224.275	209.920	208.377	216.069
Energie- und Klimafonds[3]	—	28.000	33.500	121.850	137.500
Summe	**210.256**	**252.275**	**243.420**	**330.227**	**353.569**
Erneuerbare Energien					
Bundeshaushalt	205.142	221.362	245.015	256.726	260.912
Energie- und Klimafonds	—	40.000	29.000	130.000	165.000
Summe	**205.142**	**261.362**	**274.015**	**386.726**	**425.912**
Nukleare Sicherheit, Endlagerung					
Bundeshaushalt	71.543	75.280	78.435	80.721	83.060
Fusion					
Bundeshaushalt	131.031	144.053	158.507	166.348	144.086
Summe					
Bundeshaushalt	617.971	664.970	691.877	712.171	704.127
Energie- und Klimafonds	—	68.000	62.500	251.850	302.500
Summe	**617.971**	**732.970**	**754.377**	**964.021**	**1.006.627**

1 Die Zahlen zum Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
2 Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt
3 Enthält auch Beiträge für Elektromobilität

1 Einleitung

1.1 Energiewirtschaftliche Herausforderungen

Wenn es etwas gibt, das jeden Menschen zutiefst berührt, von dem die Existenz und der Wohlstand jedes Einzelnen abhängen, dann ist es Energie. Energie ist der Motor allen Geschehens. Das erklärt, warum die Energiepolitik seit jeher ein zentraler Bereich staatlichen Handelns ist und warum energiepolitische Überlegungen immer wieder und oft auch kontrovers im Mittelpunkt der öffentlichen Meinungsbildung stehen.

Anfang des 21. Jahrhunderts stellt sich die Energiefrage neu und dringlicher als je zuvor. Nichts belegt dies deutlicher als ein Blick auf die globalen historischen energiewirtschaftlichen Entwicklungen und die dort zu erkennende Dynamik. Für die Bundesregierung, die ihre Energiepolitik langfristig anlegt und Wirtschaft und Verbrauchern mit dem Energiekonzept eine Orientierung bis zum Jahr 2050 gibt, sind drei große Entwicklungslinien von herausgehobener Bedeutung:

→ *Wachstum des Energieverbrauchs:* 1950 betrug der weltweite Primärenergieverbrauch rd. 100 EJ. Von 1950 bis 2008 ist der jährliche Verbrauch auf mehr als das 5-Fache angestiegen (513 EJ). Ursachen dafür sind vor allem der Bevölkerungszuwachs und die wirtschaftliche Entwicklung. 1950 lebten auf der Erde 2,5 Mrd. Menschen. 2010 lag die Zahl bei rd. 7 Mrd. und bis 2050 wird ein weiterer Anstieg auf 9 Mrd. Menschen erwartet. Unter dieser Annahme sind aktuelle Abschätzungen der Internationalen Energieagentur (IEA), die einen weiteren Zuwachs des Weltprimärenergieverbrauchs bis 2050 auf über 900 EJ pro Jahr für möglich halten, keineswegs unrealistisch[7, 8].

→ *Dominanz der fossilen Energieträger:* Der Wohlstand der Welt stützt sich auf die fossilen Energieträger. Das gilt in besonderer Weise für die Industrieländer, aber auch für die meisten Entwicklungs- und Schwellenländer. Der Beitrag von Kohle, Öl und Erdgas zur Deckung des weltweiten Primärenergiebedarfs liegt heute bei rd. 80 %. Den restlichen Beitrag erbringen die Wasserkraft, die sonstigen erneuerbaren Energien, vor allem die traditionelle Biomasse, und die Kernenergie. Es ist bemerkenswert, dass der Anteil der fossilen Energieträger zur Deckung des globalen Primärenergiebedarfs in den letzten 60 Jahren sogar leicht gestiegen ist. Kohle, Öl und Erdgas konnten ihre dominierende Stellung im Markt ausbauen, trotz des Einsatzes eines neuen Energieträgers, der Kernenergie, und trotz des raschen Ausbaus der modernen erneuerbaren Energien, wie Windenergie und Solarenergie, in den letzten Jahren. Das belegt, dass das beispiellose Wirtschaftswachstum der letzten Jahrzehnte mit einem immer größeren Zugriff auf die fossilen Energieressourcen einherging. Die Zuwachsraten sind beeindruckend: Von 1950 bis 2010 ist der weltweite Einsatz von Kohle um etwas mehr als 200 %, der Einsatz von Erdöl um fast 700 % und der Einsatz von Erdgas, das allerdings 1950 nur eine sehr geringe Rolle spielte, um deutlich mehr als 1.300 % gestiegen.

→ *CO_2-Emissionen und Klimaschutz:* Die Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas führt bei Nutzung der heute zur Verfügung stehenden Technologien unausweichlich zu CO_2-Emissionen und damit zu einer Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes. Die Entwicklung auf diesem Feld ist alarmierend. Von 1950 bis heute stiegen die weltweiten energiebedingten CO_2-Emissionen von 5 Mrd. t auf rd. 31 Mrd. t pro Jahr. Unter Status-quo-Bedingungen ist ein weiterer Zuwachs vorprogrammiert. Analysen der IEA deuten darauf hin, dass die energiebedingten CO_2-Emissionen 2050 gegenüber 1990 mehr als doppelt so hoch ausfallen könnten[8]. Solche Erwartungen stehen in krassem Gegensatz zu den Erfordernissen des Klimaschutzes, nach denen eine rasche und drastische Reduktion der treibhausrelevanten Spurengase notwendig ist.

Insgesamt macht der Blick auf diese Daten deutlich, dass die Art, wie wir heute Energie gewinnen und nutzen, nicht mit den Vorstellungen einer nachhaltigen Entwicklung in Übereinstimmung gebracht werden kann. Nach einer über Jahrhunderte hinweg gehenden, stetig wachsenden Förderung von Kohle, Öl und Erdgas wächst das Verständnis, dass dieser Prozess nicht auf Dauer fortgeführt werden kann. Der Vorrat an fossilen Energieträgern ist begrenzt.

Vor allem bei Erdöl, dem mit einem Marktanteil von mehr als 30 % wichtigsten Energieträger in der globalen Energiebilanz, wird die Erschöpfung der Ressourcen immer deutlicher absehbar, auch wenn neue Funde und der technische Fortschritt die Grenzen der Erdölförderung – wie schon so oft in der Vergangenheit – immer weiter in die Zukunft verschieben können.

Die Endlichkeit der fossilen Energieträger ist nicht die einzige Herausforderung. Anfang der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts haben Klimawissenschaftler gezeigt, dass der Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas noch engere Grenzen gesetzt werden müssen. Heute besteht weitgehend Einigkeit, dass bis 2050 global mindestens eine Halbierung der Treibhausgasmissionen gegenüber 1990 notwendig ist. In Industrieländern sogar um 80 bis 95 %, um den Anstieg der globalen Temperatur auf unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen und dadurch unbeherrschbare Folgen des bereits einsetzenden Klimawandels möglichst zu verhindern[9]. Diese Bewertung weist darauf hin, dass der Schutz der Erdatmosphäre den Übergang zu einem völlig neuen weltweiten Energiesystem noch dringlicher macht. Notwendig ist rasches und entschlossenes politisches Handeln. Denn es wird immer deutlicher, dass der Weg, auf dem die Menschheit im 21. Jahrhundert voranschreitet, vor allem durch die anstehenden Entscheidungen auf dem Feld der Energie- und Klimapolitik bestimmt wird.

Die Bundesregierung entwickelt ihre Energiepolitik vor dem Hintergrund dieser großen, globalen Perspektiven und den sich daraus ergebenden Möglichkeiten und Randbedingungen. Ziel der Bundesregierung ist es, einen Beitrag für den Übergang zu einem neuen, sicheren, wirtschaftlichen, klima- und umweltverträglichen globalen Energiesystem zu leisten. Dazu gehört auch ein beispielhaftes Vorgehen im eigenen Land. Deutschland will den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien beschreiten. Deutschland soll eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden.

Um diese Ziele zu erreichen, ergänzt die Bundesregierung ihre Energie- und Klimapolitik durch einen neuen strategischen Ansatz. Dieser Ansatz setzt auf eine verbesserte Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien. Die Bundesregierung ist der Auffassung, dass eine exzellente, breit angelegte und gut vernetzte, von den Grundlagen bis zur industriellen Demonstration und Anwendung reichende Forschung und Entwicklung zu den wichtigsten Voraussetzungen gehört, neue Konzepte zu erproben, Innovation zu beschleunigen und zukunftsfähige Energietechnologien an den Markt heranzuführen.

Durch eine geeignete politische Flankierung, insbesondere im Rahmen der „Exportinitiative Energieeffizienz“ und der „Exportinitiative Erneuerbare Energien“, wird die Bundesregierung sicherstellen, dass die neuen Energietechnologien nicht nur Investoren in Deutschland zur Verfügung stehen, sondern auch in Europa und in anderen Ländern der Welt eingesetzt werden können. Damit leistet die Politik einen wirkungsvollen Beitrag zu der angestrebten globalen Energiewende und sichert zugleich Wertschöpfung und Beschäftigung auf dem Feld moderner Energietechnologien in Deutschland. Mit dieser Grundlinie fügt sich das neue Energieforschungsprogramm gut in die „Technologieoffensive“ des BMWi und der „Hightech-Strategie“ der Bundesregierung ein, deren generelles Ziel es ist, die enormen Potenziale Deutschlands in Wissenschaft und Wirtschaft zu aktivieren und zukunftsfähige Lösungen für die nationalen und globalen Herausforderungen bereitzustellen[3, 5].

1.2 Energiepolitische Vorgaben

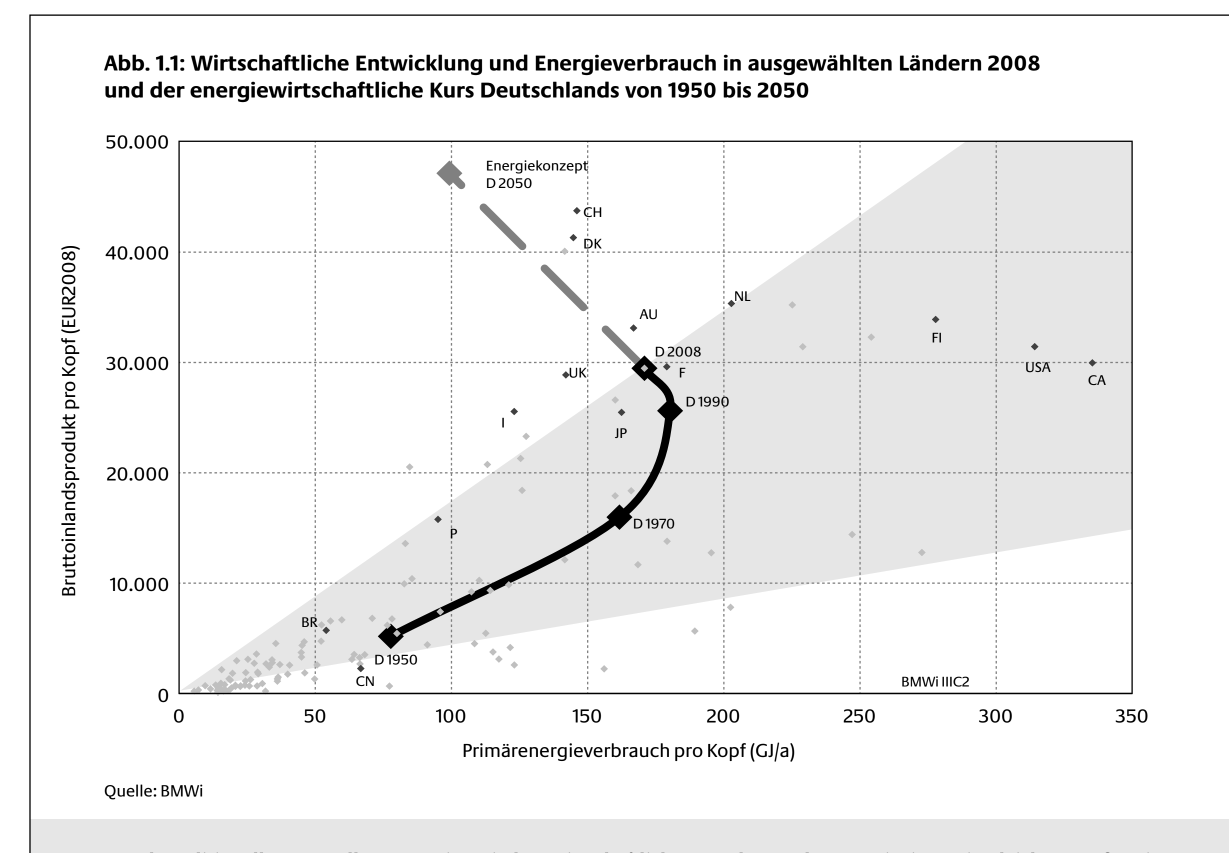
Die Bundesregierung hat am 28. September 2010 ihr Energiekonzept vorgelegt[4]. Dieses Konzept wurde nach dem Reaktorunfall in Japan im März 2011 fortgeschrieben. Ziel ist es jetzt, das Zeitalter der erneuerbaren Energien noch schneller zu erreichen. Die Leitlinien des Energiekonzepts für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung haben jedoch unveränderten Bestand. Das gilt auch für die quantitativen Ziele, die bis zum Jahr 2050 reichen und die Energieversorgung Deutschlands in ihren Grundzügen vorgeben.

Für die künftige Ausrichtung der Energieforschungspolitik sind vor allem die langfristigen Vorgaben von Bedeutung. Die wichtigsten Festlegungen für das Jahr 2050 sind:

- → Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % gegenüber 1990 (2020: 40 %),
- → Verminderung des Primärenergieverbrauchs um 50 % gegenüber 2008,
- → Absenkung des Stromverbrauchs um ca. 25 % gegenüber 2008 (2020: 18 %) sowie
- → Ausbau der erneuerbaren Energien auf einen Anteil von 60 % am Bruttoendenergieverbrauch (2020: 18 %) bzw. 80 % am Bruttostromverbrauch (2020: mindestens 35 %).

Hinzu kommen weitere quantitative Ziele, die wichtige Teilmärkte betreffen. Dazu gehören insbesondere die Einsparziele für den Gebäudebereich (Reduzierung

Abb. 1.1: Wirtschaftliche Entwicklung und Energieverbrauch in ausgewählten Ländern 2008 und der energiewirtschaftliche Kurs Deutschlands von 1950 bis 2050



Quelle: BMWi

Nach traditionellen Vorstellungen steigt mit dem wirtschaftlichen Wachstum der Energieeinsatz in gleichem Maße. Dieser Zusammenhang lässt sich vor allem durch Ländervergleiche gut illustrieren. Staaten mit einem hohen Bruttoinlandsprodukt pro Kopf, wie etwa USA und Kanada, haben auch einen hohen Energieverbrauch pro Kopf. Staaten, die nur ein vergleichsweise geringes Bruttoinlandsprodukt pro Kopf erwirtschaften, wie etwa Brasilien oder China, haben einen vergleichsweise geringen Energieverbrauch pro Kopf.

Dass auch andere Wege möglich sind, belegt Deutschland. In den 50er, 60er und 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts fügten sich die energiewirtschaftlichen Trends in Deutschland noch gut in die traditionelle Linie ein. Nach der Wiedervereinigung wurde ein grundlegend neues Muster sichtbar. Das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf stieg in Deutschland von 1990 bis 2010 um fast 30 %, ohne dass ein höherer Energieeinsatz notwendig war. Dieser Trend zu mehr Energieeffizienz soll fortgesetzt und beschleunigt werden.

Für 2050 strebt die Bundesregierung eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 50 % bei einem Wachstum des Bruttoinlandsprodukts um rd. 40 % an. Diese Perspektive impliziert eine Verbesserung der Energieproduktivität bezogen auf den Endenergieverbrauch von 2008 bis 2050 um durchschnittlich 2,1 % und bezogen auf den Primärenergieverbrauch um 2,5 % pro Jahr.

des Wärmebedarfs im Gebäudebestand bis 2050 um 80 %) oder für den Verkehrsbereich (Reduzierung des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor bis 2050 um 40 % gegenüber 2005). Weiter gibt es Vorgaben zur Marktentwicklung einzelner Technologien, wie etwa den Ausbau der Offshore-Windenergie bis 2030 auf 25 GW, die Einführung der Elektromobilität (1 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2020, 6 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2030) oder den Einsatz von Anlagen zur CO_2-Abtrennung und Speicherung (bis 2020 sollen zwei solcher Demonstrationsanlagen mit dauerhafter Speicherung von CO_2 in Deutschland gebaut werden). In die Kategorie der technologischen Vorgaben gehört auch die Bewertung der Kernenergie als zeitlich eng begrenzte Brückentechnologie mit der Konsequenz, dass die Kernenergie bereits auf mittlere Sicht keinen Platz in der Energiebilanz Deutschlands haben wird.

Die Anzahl und die Qualität der energiewirtschaftlichen Vorgaben machen deutlich, dass die Bundesregierung für die kommenden 40 Jahre tief greifende Veränderungen des Energiesystems in Deutschland anstrebt. Deutschland begibt sich auf einen Weg, der historisch einmalig und international bislang ohne Vergleich ist (siehe Abb. 1.1).

Bei diesem Transformationsprozess geht es nicht um kleine Änderungen von Teilen. Es geht um große Veränderungen des Ganzen. Denn das, was wir heute als Energiesystem bezeichnen, ist nicht ein Teil unserer Wirtschaft. Es ist die Grundlage unserer Wirtschaft. Zum Energiesystem gehören nicht nur Bergwerke, Kraftwerke, Pipelines, Wind- und Solaranlagen, Netze, Fahrzeuge, Motoren und Wärmeerzeugungsanlagen, sondern auch die gesamte dazu gehörende Infrastruktur, Verkehrswege, Gebäude und Industrieanlagen, die immer wichtiger werdenden Informations- und Kommunikationseinrichtungen sowie schließlich auch das jeweilige institutionelle und organisatorische Umfeld. Viele Politikbereiche werden sich im Zuge der Umsetzung des Energiekonzeptes neu ausrichten müssen.

Wie auch immer sich der geplante energiewirtschaftliche Transformationsprozess über die kommenden 40 Jahre in Deutschland im Einzelnen vollziehen wird, er setzt eines voraus: Innovation und neue Technologien. Mit den heute verfügbaren Konzepten und Technologien wird es nicht gelingen, die ehrgeizigen Ziele bei der Energieeinsparung und dem Ausbau der erneuerbaren Energien zu erreichen. Innovation und neue Technologien fallen aber nicht vom Himmel. Sie müssen durch Forschung, Entwicklung und Demonstration an den Markt herangeführt werden. Dazu gibt es keine Alternative.

Die Energieforschungspolitik gilt zu Recht als wesentliches strategisches Element jeder guten Energie- und Klimapolitik, und so hat die Bundesregierung mit der grundlegenden Neuausrichtung ihrer Energiepolitik durch das Energiekonzept auch entschieden, ein neues Energieforschungsprogramm vorzulegen. Kernaufgabe dieses neuen Programms ist es, die Energieforschungspolitik der Bundesregierung und die individuellen Förderprogramme der verschiedenen zuständigen Ressorts auf die großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts auszurichten.

1.3 Ziele der Energieforschungspolitik

Die Bundesregierung verfolgt bei der Förderung von Forschung und Entwicklung von Energietechnologien drei Zielsetzungen:

→ Das **erste und wichtigste Ziel** der Energieforschungspolitik ist es, einen Beitrag zur Erfüllung der zahlreichen energiewirtschaftlichen und klimapolitischen Vorgaben der Bundesregierung zu leisten. Damit bekommen Bereiche und Technologien eine Priorität, die dazu beitragen, die Energieeffizienz in dem angestrebten Umfang zu verbessern und den Ausbau der erneuerbaren Energien so voranzutreiben, dass die vorgegebenen Marktanteile erreicht werden können. Aufgabe der Förderpolitik ist es insbesondere, diese Technologien kostengünstiger zu machen und dadurch den Weg für eine schnelle Marktdurchdringung zu ebnen. Zudem legt die Bundesregierung Wert auf die Umwelt- und Naturverträglichkeit der Energienutzung.

→ Das **zweite Ziel** der Energieforschungspolitik ist es, die führende Position deutscher Unternehmen auf dem Gebiet moderner Energietechnologien auszubauen. Dieses Ziel gewinnt in dem Umfang

an Bedeutung, in dem sich die Gewichte der Entwicklung auf den Energiemärkten verschieben. Hier sind die Trends eindeutig: Die Märkte für Energietechnologien in Deutschland haben Grenzen. Sie wachsen im Rest der Welt, vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern, und dort zum Teil mit einer gewaltigen Dynamik. Durch eine gezielte Ausrichtung der Energieforschungs- und Technologiepolitik auf die weltweite Entwicklung ergeben sich neue Möglichkeiten zur Flankierung der internationalen Klimaschutzpolitik der Bundesregierung sowie zur Unterstützung der Wachstums- und Beschäftigungspolitik in Deutschland.

→ Das **dritte Ziel** der Energieforschungspolitik ist es, technologische Optionen zu sichern und zu erweitern. Das hilft, die Flexibilität der Energieversorgung Deutschlands zu verbessern. Der grundsätzliche Zugriff auf viele Optionen gibt Wirtschaft und Verbrauchern noch am ehesten die Möglichkeit, sich an Veränderungen und Neubewertungen anzupassen. Nichts als ein weiter Rückblick auf die Energiegeschichte Deutschlands seit 1950 belegt deutlicher, dass energiepolitische Rahmenbedingungen immer zeitgemäß gesetzt werden und mit ihrer Zeit auch wieder vergehen. Offenheit der Zukunft ist eine fundamentale Gegebenheit allen politischen Handelns. Die Bundesregierung bekennt sich in ihrem Energiekonzept daher ausdrücklich zu einer grundsätzlich technologieoffenen Energiepolitik. Unter dieser Perspektive wird die Bundesregierung ihre Technologieförderung auch in Zukunft auf breiter Front fortsetzen und so die notwendige Voraussetzung für eine stetige Erneuerung schaffen. Damit leistet die Energieforschungspolitik der Bundesregierung einen wichtigen Beitrag zu einer gesamtwirtschaftlichen Risikovorsorge.

1.4 Rahmen und Struktur der Energieforschung des Bundes

Die Bundesregierung ist der Auffassung, dass Forschung und Entwicklung in erster Linie eine Aufgabe der Wirtschaft ist. Die Aufgabe des Staates ist das Schaffen von Rahmenbedingungen für Innovation und technischen Fortschritt sowie sachgerechte Investitionen in Ausbildung und Grundlagenforschung. Diese Aufgabenteilung resultiert aus dem Verständnis der Überlegenheit marktwirtschaftlicher Prozesse. Die Wirtschaft hat die besseren Anreize für effektive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Sie ist der Hauptnutznießer der Forschungsergebnisse, sie kennt die Stärken und Schwächen der Technologien am besten, und sie muss in einem Wettbewerbsmarkt besonders „überlegt“ agieren.

Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass es immer die Wirtschaft ist, die mitziehen muss, wenn neue Entwicklungen und Produkte auf den Markt gebracht werden sollen. Ein Förderprogramm, das zu Technologien oder Produkten führt, die in der Wirtschaft niemand will und die keinen Weg zum Verbraucher finden, ist kein erfolgreiches Programm. Die überragende Position der Wirtschaft bei Forschung und Entwicklung wird auch im Forschungsbudget Deutschlands sichtbar. Nahezu 70 % der Bruttoinlandsausgaben für Forschung und Entwicklung werden durch die Wirtschaft finanziert.

Jenseits dieser generellen Aufgabenteilung gibt es einen spezifischen Bedarf für eine gezielte staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung. Dieser Bedarf ergibt sich aus den bekannten „Marktdefiziten“ und ist im Energiebereich insbesondere begründet durch

→ die langen Zeithorizonte energietechnischer Entwicklungen von der Erfindung bis zu einer kommerziellen Nutzung, die z. T. weit außerhalb der betriebswirtschaftlich üblichen Planungs- und Kalkulationsfristen liegen,

→ die hohen und oft kaum zu übersehenden technologischen und ökonomischen Risiken von Forschung und Entwicklung ausgewählter Energietechnologien, die vom Markt nicht abgedeckt werden können, sowie

→ den strategischen Stellenwert des Faktors „Energie“ für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft.

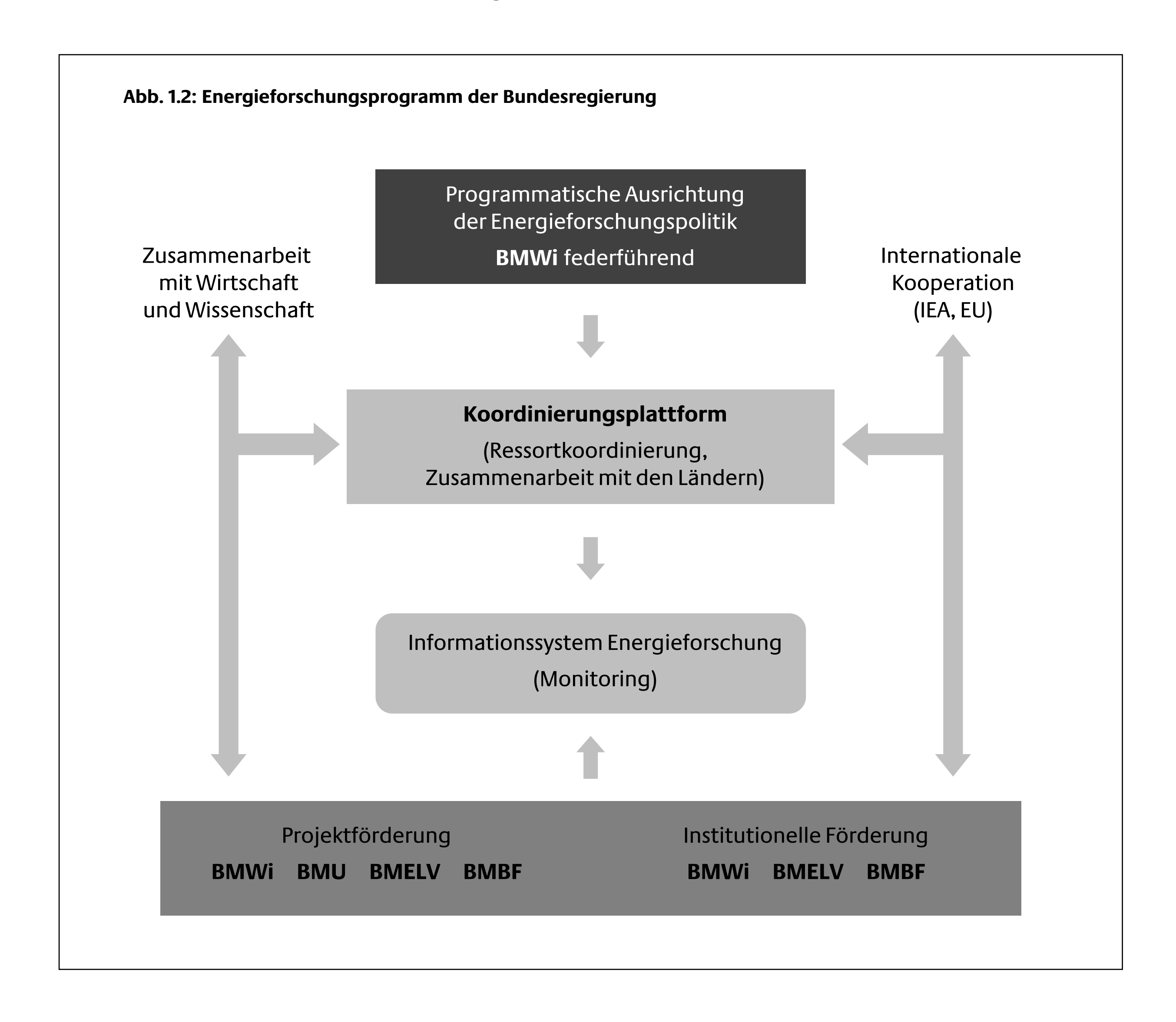
Die Situation bei Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien hat sich in den letzten Jahren in Deutschland enorm verbessert. Deutschland verfügt heute im Energiebereich über eine

Vielzahl exzellenter Wissenschaftler und Forscher, eine gute, z. T. sehr gute Forschungsinfrastruktur und eine wachsende Vielfalt von unterschiedlichen Forschungsinitiativen. Die Unternehmen haben ihr Engagement bei Forschung und Entwicklung ausgebaut. Die Bundesregierung und viele Landesregierungen haben ihre Programme zur Förderung von Forschung und Entwicklung von Energietechnologien verstärkt. Die Abstimmungsprozesse zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik haben sich verbessert. Das alles sind Faktoren, die dazu beigetragen haben, dass Deutschland heute auf vielen Energietechnologiefeldern eine führende Rolle innehat. Das gilt insbesondere auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien, wie Photovoltaik und Windenergie, aber auch bei modernen Kraftwerkstechnologien.

Als vorteilhaft herausgestellt hat sich auch die produktive Arbeitsteilung zwischen den verschiedenen Bundesressorts bei der Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration moderner Energietechnologien. Hier gelten folgende Vorgaben:

→ Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) hat aufgrund seiner Gesamtverantwortung für die Wirtschafts-, Technologie-, Industrie- und Energiepolitik die Federführung für die programmatische Ausrichtung der Energieforschungspolitik und für das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Das BMWi ist zuständig für die anwendungsorientierte Projektförderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der „nicht-nuklearen

Abb. 1.2: Energieforschungsprogramm der Bundesregierung



Energieforschung“ (ohne erneuerbare Energien) und der „nuklearen Sicherheit und Endlagerung“. Diese Zuordnung liefert eine gute Grundlage für eine kohärente Politik der Bundesregierung in den Bereichen Kohle, Öl, Gas, Strom, Netze sowie Energieeinsparung und Energieeffizienz. Darüber hinaus ist das BMWi auch zuständig für die Umsetzung der Energieforschung beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in der Helmholtz-Gemeinschaft.

→ Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ist zuständig für die anwendungsorientierte Projektförderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien (mit Ausnahme der Bioenergie). Mit dieser Zuordnung ist die Zuständigkeit für die Förderung von Forschung und Entwicklung erneuerbarer Energien sowie für ihre Integration in das Gesamtsystem und die Markteinführung der erneuerbaren Energien in einem Ressort zusammengeführt.

→ Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) ist zuständig für die anwendungsorientierte Projektförderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Bioenergie. Diese Zuordnung ermöglicht eine besonders enge Verzahnung von Forschungspolitik und Landwirtschaftspolitik auf dem Gebiet der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

→ Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ist zuständig für die institutionelle Förderung der Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft im Forschungsbereich „Energie“ (ohne DLR), sowie für die projektorientierte Forschung zur Klärung von Grundlagenfragen in den Bereichen „Energieeffizienz“, „Erneuerbare Energien“, „Nukleare Sicherheit“, „Entsorgung“, „Strahlenforschung“ und „Fusion“. Diese Zuordnung erleichtert eine wirksame Vernetzung zu anderen Grundlagenforschungsbereichen, wie Materialforschung, Nanotechnologie, Lasertechnologie, Mikrosystemtechnik oder mathematische Modellierung. Zu den Aufgaben des BMBF gehört es auch, durch Verbesserung der Ausbildung von Fachleuten der Ingenieur- und Naturwissenschaften das exzellente Forschungsniveau der Energieforschung in Deutschland zu halten.

Die Bundesregierung fördert Forschung und Entwicklung von Technologien mit spezifischen Energiebezügen auch außerhalb des Energieforschungsprogramms. Dabei handelt es sich um Ansätze und Vorhaben, bei denen andere politische oder fachliche Ziele vorrangig sind oder die sich aus einem anderen institutionellen Hintergrund ergeben. Typische Beispiele sind Forschungsvorhaben im Bereich der Verkehrsforschung, der Elektromobilität (sofern kein energiewirtschaftlicher Bezug), der Luftfahrtforschung, der Umweltforschung, der Forschung für das Bau- und Wohnungswesen oder von Projekten der Informations- und Kommunikationstechnologie. Auch gibt es Vorhaben mit Bezug zur Energieforschung im Rahmen der individuellen Ressortverantwortung, die vielfach der Politikberatung dienen. Gleiches gilt für Arbeiten bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) oder bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Darüber hinaus werden energiewirtschaftliche und energietechnische Fragestellungen auch an den Universitäten, von der Max-Planck-Gesellschaft, der Fraunhofer-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft, den Akademien und anderen Institutionen aufgegriffen.

Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei das BMVBS in seinen stark energieabhängigen Aufgabenbereichen Verkehr, Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung. Das BMVBS fördert mit eigenen Programmen und mit Unterstützung seiner Ressortforschungseinrichtungen die Einführung zukunftsfähiger Lösungen in die Praxis, wie beispielsweise Elektromobilität oder das Plus-Energie-Haus.

Die Bundesregierung betrachtet einen breiten Ansatz der Technologieförderung als angemessen und sinnvoll. Gleichwohl konzentriert sich die Bundesregierung in ihrem Energieforschungsprogramm auf Vorgaben und Prioritäten für die Kernbereiche der Technologieentwicklung im Kontext der oben beschriebenen Zuständigkeiten (Abb. 1.2). Diese Abgrenzung und Schwerpunktsetzung erlaubt noch am ehesten, eine große „strategische Grundlinie der

Bundesregierung für die Energieforschung“ festzulegen, die dann auch benachbarten oder nachrangigen Forschungsbereichen als generelle Orientierung dienen kann.

1.5 Leitlinien der künftigen Förderpolitik

Eine zielgerichtete Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien ist ein wichtiges Instrument zur Beschleunigung der Energiewende. Um diesen neuen Herausforderungen zu entsprechen, hat die Bundesregierung zur Umsetzung des 6. Energieforschungsprogramms übergeordnete Leitlinien festgelegt:

→ **Strategische Fokussierung:** Die Fördermittel der Ressorts werden in erster Linie auf besonders innovative, langfristig Erfolg versprechende Energietechnologien konzentriert, die für den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung in Deutschland wichtig sind. In diesem Sinne wird sich die Förderpolitik konzentrieren auf: Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeichertechnologien und Netztechnik, Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung und das Zusammenwirken von diesen Energietechnologien. Im Bereich der nuklearen Sicherheit und Non-Proliferations-Vorsorge wird die Bundesregierung die Forschungsförderung so gestalten, dass die in Deutschland vorhandenen Kompetenzen bewahrt und weiterentwickelt werden können. Die Vorgabe dieser Schwerpunkte gibt Wirtschaft und Wissenschaft Berechenbarkeit und Planungssicherheit für ihre eigenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

→ **Ressortübergreifende Zusammenarbeit:** Auf ausgewählten und strategisch wichtigen Feldern werden die Ressorts gemeinsame Förderstrategien entwickeln. Diese neue Form der Zusammenarbeit ist eine gute Grundlage, die in den jeweiligen Ressorts vorhandenen Kernkompetenzen zu nutzen, Synergievorteile zu realisieren und durch den gezielten Einsatz von Fördermitteln die notwendigen technologischen Durchbrüche zu erzielen. BMWi, BMU und BMBF haben bereits im Frühjahr 2011 eine erste gemeinsame Förderbekanntmachung zu dem zentralen Thema „Energiespeicher“ veröffentlicht. Weitere Förderinitiativen zu den Technologiefeldern „Netze“ und „Solares Bauen – Energieeffiziente Stadt“ werden folgen.

→ **Internationale Ausrichtung:** Technologieentwicklungen müssen heute immer stärker aus einer globalen Perspektive bewertet werden. Die Bundesregierung wird diesem Aspekt bei der Technologieförderung Rechnung tragen. Im europäischen Kontext wird die Bundesregierung deutsche Antragsteller bei der Mitwirkung und erfolgreichen Umsetzung des Strategischen Energietechnologieplans (SET-Plan) unterstützen. Priorität aus deutscher Sicht haben Projekte mit einer klaren europäischen Dimension. Dazu gehören vor allem die Forschungsthemen Stromnetze, erneuerbare Energien, Speichertechnologien, Energieeffizienz sowie Abtrennung und Speicherung von CO_2 (*Carbon Capture and Storage, CCS)*. Darüber hinaus wird Deutschland sein Engagement im Rahmen des Energietechnologienetzwerks der IEA verstärken.

→ **Abstimmung und Koordination:** Die Zusammenarbeit von Wirtschaft, Wissenschaft und staatlicher Förderpolitik ist von außerordentlicher Bedeutung für eine erfolgreiche Entwicklung und Markteinführung neuer Energietechnologien. Die Bundesregierung wird daher die beim BMWi eingerichtete „Koordinierungsplattform Energieforschungspolitik“ ausbauen. Die Koordinierung wird, neben der Abstimmung zwischen den Ressorts, auch Förderaktivitäten der Länder und der europäischen Förderinstitutionen einbeziehen. Die Koordinierungsplattform soll auch für eine Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Wissenschaft genutzt werden. Ziel ist es, den beteiligten Akteuren Gelegenheit für einen kontinuierlichen und umfassenden Informationsaustausch zu geben, Fragmentierung und Doppelarbeit entgegenzuwirken und einen möglichst hohen Mehrwert für den aus öffentlichen Mitteln bereitgestellten „Forschungs-Euro“ zu schaffen.

→ **Transparenz:** Durch den hohen politischen Stellenwert des Energiethemas sind in den letzten Jahren zahlreiche neue Forschungsinitiativen

auf den Weg gebracht worden. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung wird die Bundesregierung beim BMWi ein zentrales Informationssystem einrichten, um mehr Transparenz der staatlichen Förderpolitik und eine bessere Bewertung von Entwicklungen auf dem Gebiet der Energietechnologien zu ermöglichen. Auf der Basis dieses Informationssystems wird das BMWi gemeinsam mit den anderen Ressorts einen „Bundesbericht Energieforschung“ vorlegen, der bestehende Informationen zur Energieforschung für die Öffentlichkeit und das Parlament bereitstellt. Die Ergebnisse dieses Berichts werden in den von der Bundesregierung festgelegten Prozess zur Überprüfung der Fortschritte bei der Umsetzung des Energiekonzepts einfließen (Monitoring).

→ **Flexibilität:** Fortschritte bei Forschung und Entwicklung sind nicht planbar. Die Bundesregierung trifft daher ausreichend Vorsorge, um gegebenenfalls Mittel an bestimmten Stellen zu konzentrieren, wenn sich dort neue technologische Perspektiven eröffnen.

→ **Qualitätssicherung:** Um den hohen Stand von Forschung und Entwicklung im Energiebereich in Deutschland zu sichern und auszubauen, bedarf es der regelmäßigen Evaluierung und kontinuierlichen Optimierung von Strukturen, Regelungen und Entscheidungsverfahren. Dabei spielen Wettbewerbselemente eine wichtige Rolle. Das 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ unterliegt diesen Evaluierungs- und Optimierungsprozessen.

Forschung ohne Geld geht nicht. Die Bundesregierung wird ihrer Verantwortung gerecht, für eine Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien ausreichend Mittel zur Verfügung zu stellen. Sie hat das Energieforschungsbudget in den letzten Jahren beträchtlich aufgestockt. Die Fördermittel sind von 2005 (407 Mio. €) bis 2010 (618 Mio. €) um 50 % gestiegen. Die Bundesregierung wird eine weitere Aufstockung zur Umsetzung des Energieforschungsprogramms sicherstellen. Zusätzliche Mittel werden vor allem aus dem zum 1. Januar 2011 errichteten Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ bereitgestellt. Sie werden genutzt, um neben der Grundlagenforschung vor allem die anwendungsnahe Forschung auf den Feldern „Energieeffizienz“ und „erneuerbare Energien“ weiter auszubauen. Die Planungen sehen vor, das Energieforschungsbudget für das Jahr 2014 auf 1.007 Mio. € anzuheben.

1.6 Internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung

In einer Welt mit global agierenden Unternehmen verlieren nationale Marktentwicklungen mehr und mehr an Bedeutung. Manche erwarten sogar, dass es auf ganz lange Sicht nur noch einen globalen Markt für Energietechnologien geben wird. Das hätte gravierende Konsequenzen, denn die Technologieführer werden sich bei Investition, Produktion und Forschung noch mehr auf die Wachstumsmärkte konzentrieren, um dort durch Verbund- und Skalenvorteile wirtschaftlich erfolgreich zu sein.

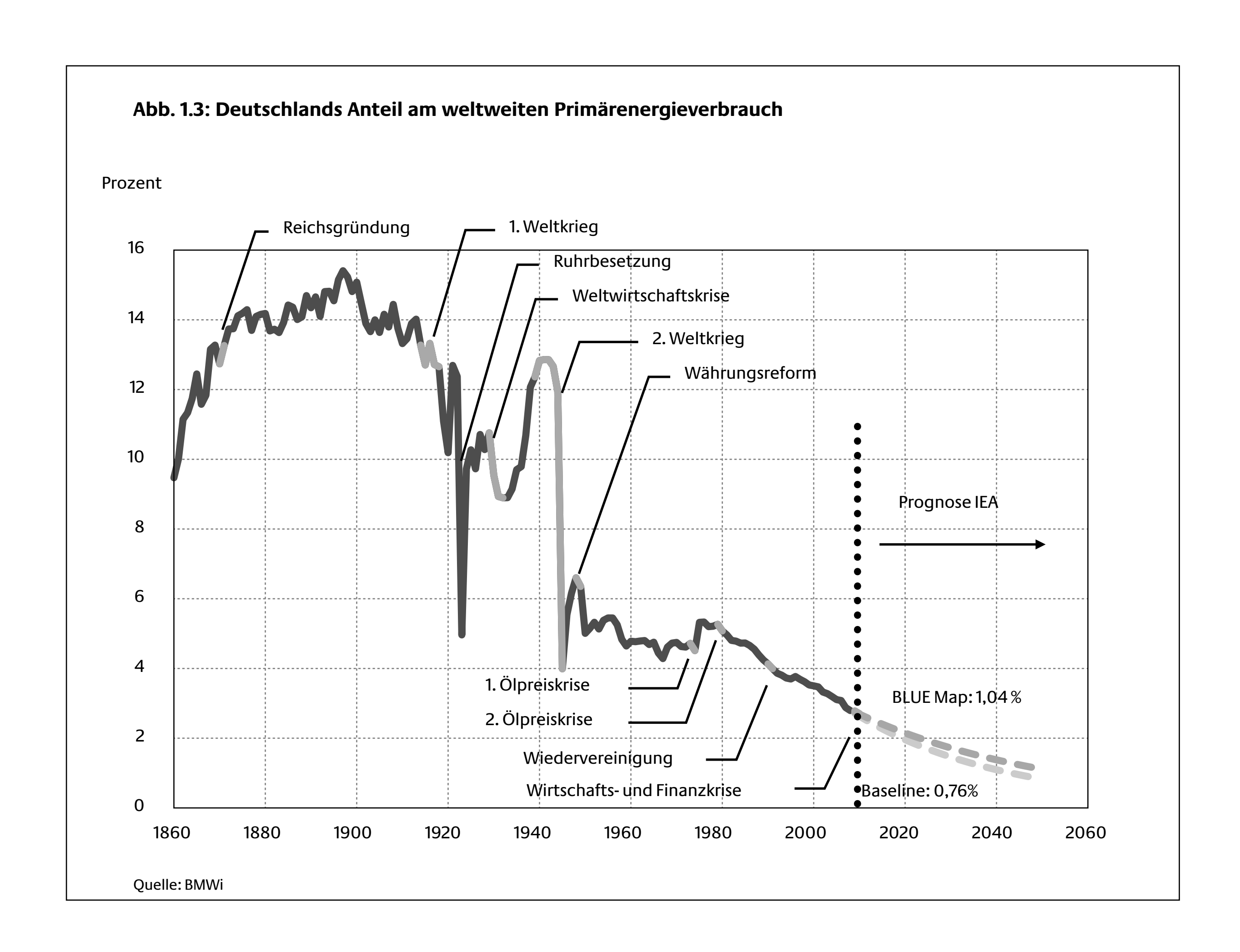
Deutschland ist von diesem Trend in ganz besonderer Weise betroffen. Der deutsche Energiemarkt unterliegt als Ganzes einem strukturellen, politisch gewollten und sich absehbar beschleunigenden Schrumpfungsprozess. Die Entwicklung in vielen anderen Staaten geht zurzeit noch in eine andere Richtung. Insbesondere in Entwicklungsländern steigt der Energiebedarf. Die daraus folgenden unterschiedlichen Marktperspektiven für Energietechnologien kann man am besten an der Entwicklung des Anteils Deutschlands am weltweiten Energieverbrauch deutlich machen (Abb. 1.3). Anfang des 20. Jahrhunderts verbrauchte Deutschland noch rd. 15 % der weltweit eingesetzten Primärenergie, 1950 lag der Anteil bei rd. 5 %, 2010 bei 2,6 %, und es gibt Abschätzungen, die darauf hindeuten, dass sich der Anteil bis 2050 auf 0,8 % verringern kann.

Man sieht, dass die großen Wachstumsmärkte für Energietechnologien nicht in Deutschland, sondern in anderen Ländern liegen. Vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern gibt es einen enormen Bedarf an moderner Technik. Kaum eine Zahl zeigt dies deutlicher als die Einschätzung der IEA, nach der heute immer noch rd. 1,4 Mrd.

Menschen keinen Zugang zur Elektrizität haben (diese Zahl entspricht nahezu dem 3-Fachen der Bevölkerung in der EU) und 2,7 Mrd. Menschen ihre Mahlzeiten durch die ineffiziente und die Umwelt belastende Verbrennung von Holz und Dung erwärmen müssen.

Die sich verschiebenden Marktpotenziale und die sich daraus ergebenden neuen Chancen für die deutsche Wirtschaft legen eine Neubewertung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung in der Frage der internationalen Zusammenarbeit nahe. Um diesen Prozess voranzubringen, wird die Bundesregierung im Rahmen der Koordinierungsplattform in Gesprächen mit Wirtschaft und Wissenschaft prüfen, wie die internationale Zusammenarbeit bei Forschung und Entwicklung modernerer Energietechnologien künftig ausgestaltet werden soll. Dabei werden die Rahmendaten der „Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung“ berücksichtigt[1].
Es geht dabei vor allem um die Frage der zukünftigen Akzente in den folgenden Feldern:

→ **Europäischer strategischer Energietechnologieplan (SET-Plan):** Im Rahmen des SET-Plans[6] haben sich Unternehmen in „Europäischen Industrieinitiativen“ organisiert. Ziel ist es, die anwendungsnahe Energieforschung zu stärken. Folgende Initiativen wurden bereits ins Leben gerufen: Bioenergie *(„European Industrial Bioenergy Initiative“, EIBI)*, Windenergie *(„Wind European Industrial Initiative Team“)*, Photovoltaik *(„Solar Europe Industry Initiative“, SEII)*, Solarthermie *(„Solar Thermal Electricity Industrial Initiative“, STEII)*, Netze *(„European Electricity Grid Initiative“, EEGI)*, die CO_2-Abscheidung und Speicherung *(„Carbon Capture and Storage“, CCS)* und



nachhaltige Kernenergienutzung *(„European Sustainable Nuclear Industrial Initiative", ESNII)*. Themen der Grundlagenforschung werden in der Europäischen Energieforschungsallianz *(„European Energy Research Alliance", EERA)* bearbeitet, in der die nationalen Forschungszentren der Mitgliedstaaten zusammenarbeiten. Die Bundesregierung wird sich aktiv an der Umsetzung des SET-Plans beteiligen.

→ **EU-Forschungsrahmenprogramm:** Das von 2007 bis 2013 laufende 7. EU-Forschungsrahmenprogramm umfasst auch den Bereich der nichtnuklearen Energieforschung. Für die Förderung von Forschung und Entwicklung der nicht-nuklearen Energietechnologien stehen Fördermittel in Höhe von 2,35 Mrd. € zur Verfügung. Das Thema „Energie" des Rahmenprogramms umfasst 10 Themenfelder, die von Energieeffizienz, erneuerbaren Energien, Brennstoffzellen und Wasserstoff, Kraftwerkstechnologien und CCS bis hin zu intelligenten Energienetzen und Querschnittsthemen reichen. Gegenwärtig laufen die Vorbereitungen zu dem 8. EU-Forschungsrahmenprogramm. Die Bundesregierung wirkt an der inhaltlichen Ausgestaltung des neuen Programms mit und setzt sich für eine Vereinfachung der Förderverfahren ein.

→ **EURATOM-Programm:** Die Förderung von nuklearen Energietechnologien in der EU erfolgt im Rahmen des EURATOM-Programms, in dem für die Laufzeit von 2007 bis 2011 ein Budget von 2,751 Mrd. € bereitgestellt werden. Die Mittel werden genutzt zur Forschung auf dem Gebiet der Kernfusion, der Entsorgung radioaktiver Abfälle, der Reaktorsicherheit und für andere Vorhaben aus dem Bereich nuklearer Technologien.

→ **Internationale Zusammenarbeit im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA):** Die IEA mit Sitz in Paris hat in den letzten Jahrzehnten ein umfangreiches Netzwerk zur Entwicklung von Energietechnologien – die „Energietechnologie-Initiativen" oder *„Implementing Agreements"* – aufgebaut, in dem Deutschland aktiv mitarbeitet. Die wichtigsten Gremien sind: der Ausschuss für Energieforschung und Technologie *(„Committee on Energy Research and Technology", CERT)*, der dem IEA-Verwaltungsrat nachgeordnet ist und die FuE-Aktivitäten auf politischer Ebene koordiniert, die „Working Parties", in denen der fachspezifische Meinungsaustausch stattfindet (zurzeit werden vier Themen abgedeckt: fossile Energietechnologien, erneuerbare Energien, Endverbrauchstechnologien und Fusionsenergie), sowie die *„Implementing Agreements"*, in denen Mitgliedstaaten der IEA (teilweise auch Nichtmitglieder der IEA) zu unterschiedlichen Energiethemen zusammenarbeiten (zurzeit arbeitet Deutschland in 23 der insgesamt 41 *„Implementing Agreements"* mit).

→ **Sonstige internationale Organisationen:** Neben den Arbeiten in der IEA, die nahezu das gesamte Spektrum an Energietechnologien betrachtet, gibt es weitere internationale Organisationen und Gremien, die sich spezifischen Aspekten der Technologieentwicklung oder speziellen Technologien widmen. Wichtig sind vor allem die *„International Renewable Energy Agency", IRENA*, das *„Carbon Sequestration Leadership Forum", CSLF* oder die *„International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy", IPHE*. 2009 wurden im Rahmen des *„Clean Energy Ministerial", CEM*, einer internationalen Initiative auf Energieministerebene, ebenfalls Foren zu verschiedenen Energietechnologien gegründet, in denen auch Deutschland beispielsweise bei den Themen „Intelligente Netze" oder „Elektrofahrzeuge" mitarbeitet.

→ **Bilaterale Zusammenarbeit:** Grundlage für bilaterale Forschungsaktivitäten bilden die Abkommen für wissenschaftliche und technologische Zusammenarbeit (WTZ). In den Rahmenabkommen werden insbesondere Fragen der Finanzierung des Austausches von Wissenschaftlern und Studenten bis hin zu Erleichterungen bei Zoll- und Visaformalitäten im Rahmen der Zusammenarbeit geregelt. Bis Ende 2010 unterhielt Deutschland 48 WTZ-Abkommen mit Regierungen auf der ganzen Welt. Die Abkommen werden ständig weiterentwickelt und den aktuellen Gegebenheiten angepasst.

Literatur:

1 BMBF (2008): Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung, Bonn / Berlin
2 BMBF (2010): Bundesbericht Forschung und Innovation 2010, Bonn/Berlin
3 BMBF (2010): Ideen.Innovation.Wachstum: Hightech-Strategie 2020 für Deutschland, Bonn / Berlin
4 BMWi/BMU (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin
5 BMWi (2011): Technologieoffensive des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin
6 Europäische Kommission (2007): A European Strategic Energy Technology Plan – Towards a Low Carbon Future, Brüssel
7 IEA (2010): World Energy Outlook 2010, Paris
8 IEA (2010): Energy Technology Perspectives, Scenarios and Strategies to 2050, Paris
9 IPCC (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change, Genf

2 Ressortübergreifende Initiativen

Die traditionelle Vorstellung einer geordneten zeitlichen Abfolge einer technologischen Entwicklung, beginnend mit der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung, die Produkt- bzw. Verfahrensentwicklung bis zum innovativen Produkt bzw. zur innovativen Dienstleistung, mit deren Ersterprobung und Marktumsetzung, trifft heute kaum noch die Realität. Immer wichtiger wird die enge und direkte Kooperation zwischen den Wissenschaftlern und Ingenieuren aus den Forschungslaboren auf der einen Seite und Vermarktungsexperten auf der anderen Seite. Innovationen vollziehen sich heute mit einer enormen Dynamik. Während sich die erste Generation bereits in einer frühen Vermarktungsphase befindet, erfolgen zeitgleich die Entwicklung der nächsten und die Beschäftigung mit grundlegenden Fragestellungen der übernächsten Generation. Markterfolge hängen mehr und mehr davon ab, wie schnell die Erkenntnisse aus der Erprobungsphase einer Generation in die Entwicklung der nachfolgenden Generation einfließen können.

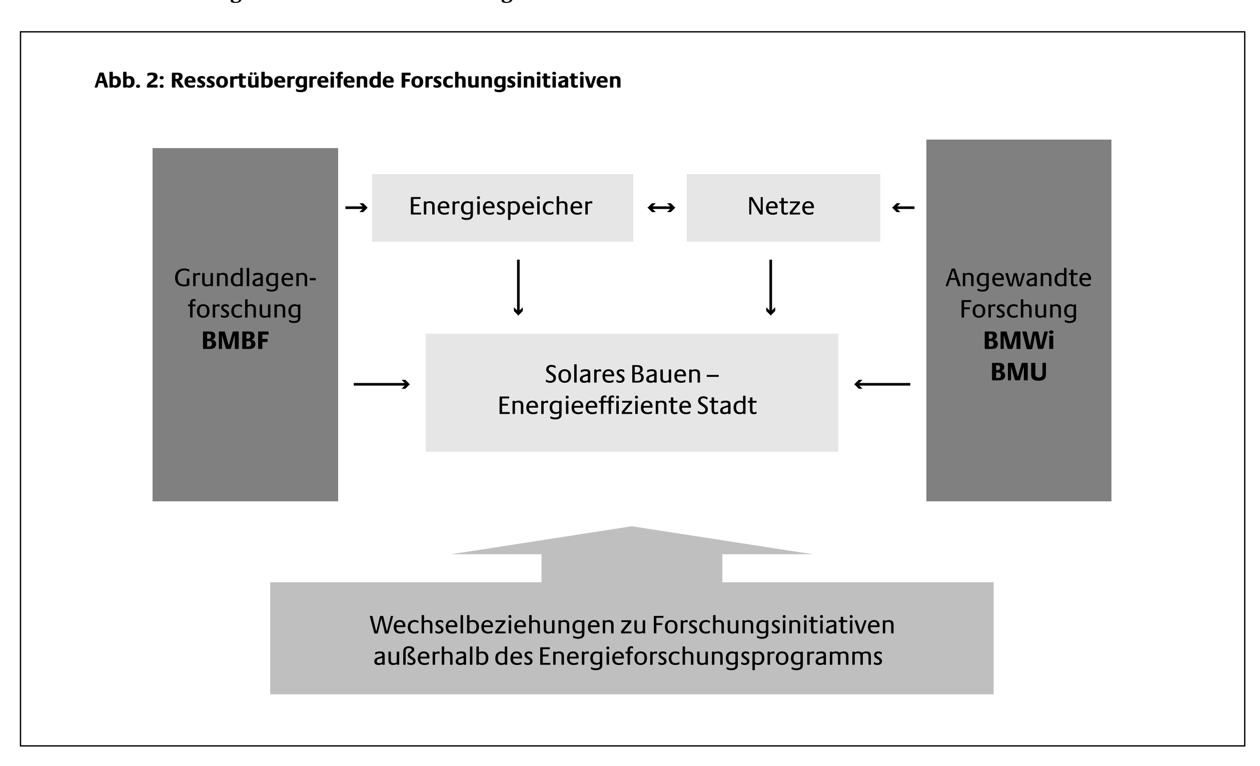
Das ist aber nur ein Teil der wachsenden Komplexität der Innovationsprozesse. Der technische Fortschritt im Energiebereich vollzieht sich heute mit einer enormen Geschwindigkeit. Die wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen werden immer größer, Systemzusammenhänge immer wichtiger. Die Konsequenz wird in einer immer weiter voranschreitenden Ausdifferenzierung und Spezialisierung sichtbar.

Die staatliche Technologieförderung muss sich an diese neue Situation anpassen. Eine wichtige Rolle spielen dabei ressortübergreifende Förderstrategien. Durch Kooperation verschiedener Ressorts ist es am besten möglich, das jeweilige Fachwissen zu nutzen, Synergievorteile zu erzielen und Kräfte zu bündeln, um auf den für die künftige Energieversorgung Deutschlands wichtigen Feldern die notwendigen technologischen Durchbrüche zu erzielen.

Gemeinsame Förderstrategien bieten sich vor allem auf Gebieten an, bei denen

- der Komplexitätsgrad der Technologie hoch ist und Systemzusammenhänge zu beachten sind,
- eine enge Verzahnung von Grundlagenforschung, angewandter Forschung, Ersterprobung und Vermarktung wichtig ist und schließlich
- die Politik möglichst rasch Erfolge erzielen will.

Abb. 2: Ressortübergreifende Forschungsinitiativen



Die Bundesregierung hat entschieden, zunächst auf drei Gebieten ressortübergreifende Förderinitiativen zu entwickeln und umzusetzen: „Energiespeicher“, „Netze“ und „Solares Bauen – energieeffiziente Stadt“. Diese Initiativen stehen untereinander in einem fachlichen und politischen Zusammenhang und bedürfen in besonderer Weise der weiteren Abstimmung mit verwandten bzw. vergleichbaren Initiativen in Deutschland (z. B. in den Bundesländern) und Europa.

Einen wichtigen Bezug gibt es insbesondere zu den Förderinitiativen des BMVBS im Bereich „Regionale Energiekonzepte“. Hier geht es vor allem um einen spezifischen Ressortbeitrag zur Raumentwicklung und um Entscheidungsgrundlagen für weitere Initiativen, Programme, gesetzliche Regelwerke und Fördertatbestände.

Weitere Bezüge ergeben sich zu dem Thema „Elektromobilität“. Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge bieten die Möglichkeit, Strom aus erneuerbaren Energiequellen für den Verkehr zu erschließen. Hierfür sind leistungsfähige Speicher, etwa Wasserstoff oder Batterien, die in sehr spezifischer Weise in die Stromnetze eingebunden werden, nötig. Forschungsmaßnahmen im Bereich der Speichertechnologien im Verkehr werden eng mit den Arbeiten der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ sowie dem „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)“ verknüpft und abgestimmt. Für die gemeinsamen Förderinitiativen ergeben sich im Einzelnen die folgenden Perspektiven:

2.1 Energiespeicher

Die von der Bundesregierung verfolgte Strategie zum Ausbau der erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung auf 80 % bis zum Jahr 2050 erhöht in gleichem Maße die Anforderungen zur Anpassung der Stromnachfrage an das zunehmend volatil anfallende Stromangebot. Mittel- bis langfristig wird der Einsatz von Speichern mit dem stetig steigenden Anteil der erneuerbaren Energien immer bedeutsamer.

Das Thema Energiespeicher ist von hoher Komplexität und muss im Systemzusammenhang gesehen werden. Energiespeicher besitzen auch eine Schlüsselstellung für eine effiziente und auf hohen Anteilen erneuerbarer Energien beruhende Energieversorgung.

Die drei Ressorts BMWi, BMU und BMBF fördern Forschung und Entwicklung bei Speichertechnologien mit jeweils unterschiedlichen Ausrichtungen (siehe hierzu auch Kapitel 3.1.4, 4.7.4 und 6.4.2). Dadurch leisten sie aktiv einen Beitrag für den Weg in eine hocheffiziente und überwiegend auf erneuerbaren Energieträgern basierende Energieversorgung.

Thermische Speicher sind eine Querschnittstechnologie in den Bereichen Energieumwandlung, Energieversorgung und allen Sektoren des Endverbrauches. Sie werden in den Bereichen solare Wärmeversorgung und solarthermische Kraftwerke sowie bei der Verbesserung der Energieeffizienz eine wesentliche Rolle spielen. Thermische Speicher können in einem integralen Ansatz auch zur Netzstabilisierung beitragen und damit den Bedarf an elektrischen Speichern reduzieren. Damit thermische Energiespeicher kurzfristig relevante Beiträge zu einem hocheffizienten und auf einem hohen Anteil erneuerbarer Energien basierenden Energieversorgungssystem liefern können, müssen jedoch noch signifikante Verbesserungen in der Wärmespeichertechnik und insbesondere bei der Wirtschaftlichkeit erzielt werden.

Die Entwicklung von **stofflichen Energiespeichern** ist mit Blick auf eine zukünftig notwendige Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien, eine mögliche Verknappung und Verteuerung herkömmlicher Energieträger oder zur Entlastung von Stromnetzen von großer Bedeutung. Gedacht wird hierbei an die Umwandlung von regenerativer Energie in stoffliche Energieträger, wie z. B. Methan oder Wasserstoff. Die ambitionierten klimapolitischen Ziele der Bundesregierung erfordern neben dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und einer stetigen Erhöhung der Effizienz des gesamten Energiesystems auch die weitgehende Entkarbonisierung der Mobilität. Dadurch werden auch alternative Technologien zur Gewinnung von Brenn- und Kraftstoffen als stoffliche Speicher für z. B. Windüberschussstrom zunehmend interessant.

Langfristig werden **elektrochemische Speicher** (z. B. auf Lithiumbasis) auch als Option zur Regelung

der Stromnetze betrachtet. Eine frühere Marktdurchdringung wird den Batterien aber bei der zunehmenden Elektrifizierung von Kraftfahrzeugen zugesprochen (siehe Kapitel 3.1.4).

BMWi, BMU und BMBF haben bereits im Frühjahr 2011 die „Förderinitiative Energiespeicher“ auf den Weg gebracht. Diese Initiative konzentriert sich auf die stationäre Speicherung von Energie. Sie umfasst die Entwicklung von elektrischen Speichern (wobei hier Synergien der mobilen Anwendung gezielt genutzt werden sollen) und die Entwicklung von thermischen und stofflichen Speichern.

Einzelheiten zur Technologieentwicklung, der Förderstruktur und den Prioritäten der Forschungsförderung finden sich in der Bekanntmachung der gemeinsamen „Förderinitiative Energiespeicher“[1].

2.2 Netze

Der zuverlässige Betrieb von Stromnetzen ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine gesicherte Versorgung der Wirtschaft und privater Haushalte mit elektrischer Energie. Dabei erfordern die zunehmenden Anteile erneuerbarer Energien Anpassung und Ausbau der Stromnetze. Der europäische Binnenmarkt und die zentrale Lage Deutschlands in Europa werden außerdem zu einem stetig steigenden Stromaustausch mit benachbarten Ländern führen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind künftig Investitionen in die Netzinfrastruktur in großem Umfang zu erwarten.

Der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Energien und die zunehmende Dezentralisierung des Stromangebots werden auch die Struktur der künftigen Stromnetze erheblich verändern. Der Einsatz von neuen Technologien und das Anpassen an die Erfordernisse eines Energiesystems mit hohem Anteil erneuerbarer Energien sind erforderlich, um in Zukunft eine effiziente, gesicherte und zuverlässige Stromübertragung bzw. Stromverteilung gewährleisten zu können. Die Forschungsthemen weisen ein breites Spektrum auf und erstrecken sich von der Entwicklung neuer Komponenten, z. B. der Gleichstromübertragungstechnik oder Supraleitungstechnologie, der Modellbildung zur Planung und zum sicheren und effizienten Betrieb von Netzen, über die Demonstration und Qualifizierung neuer Technologien bis hin zu systemanalytischen Fragestellungen. Da die drei Ressorts BMWi, BMU und BMBF Forschung und Entwicklung im Bereich Netze mit jeweils unterschiedlichen Ausrichtungen fördern (siehe hierzu auch Kapitel 3.1.5, 4.7.3 und 6.4.1), können durch eine enge ressortübergreifende Zusammenarbeit Synergien genutzt und dringend notwendige technologische Entwicklungen beschleunigt werden. Wegen der Dringlichkeit der anstehenden Investitionen zum Netzausbau und der Anpassung an hohe Anteile erneuerbarer Energien ist eine intensive und koordinierte Zusammenarbeit aller Akteure auf diesem Gebiet besonders wichtig. Dies schließt aufgrund der europäischen Dimension des Themas Stromnetze eine Verstärkung der EU-Kooperation im Rahmen des SET-Plans ein.

2.3 Solares Bauen – energieeffiziente Stadt

Weltweit wohnen 45 % der Menschen in Städten. In Deutschland liegt die Zahl bei rd. 70 %. Der von der Bundesregierung angestrebte Ausbau der erneuerbaren Energien und die Verbesserung der Energieeffizienz wird sich daher vor allem in den Städten vollziehen müssen. Damit kommen eine Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren ins Spiel, insbesondere die demografische Entwicklung, mögliche neue Formen des Wohnens und Arbeitens, die Verbindung zum Thema Mobilität und schließlich die zentrale Frage der Finanzierung der energetischen Modernisierung von Quartieren und Städten. Die Bundesregierung kann in diesen Bereichen schon auf vielfältige Programme aufbauen. Dazu gehört die Forschungsinitiative „Energieeffiziente Stadt“ des BMWi, das Förderkonzept „Solarthermie2000plus“ des BMU und der „Wettbewerb energieeffiziente Stadt“ des BMBF. Eine wichtige Rolle spielt auch das Forschungsprogramm „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“ (ExWoSt) des BMVBS. Ziel der gemeinsamen Fördermaßnahme „Solares Bauen – energieeffiziente Stadt“ ist es, die vorhandenen Ansätze zu bündeln und in den strategisch wichtigen Feldern auszubauen und zu verstärken.

Im Kontext der Hightech-Strategie der Bundesregierung sind die ressortübergreifenden Förderinitiativen ein Beitrag zur Umsetzung der Zukunftsprojekte

„Intelligenter Umbau der Energieversorgung“ und „CO_2-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt“. Sie werden im Rahmen der den jeweiligen Ressorts zugewiesenen fachlichen Verantwortung und Zuständigkeit durchgeführt. Ihre Umsetzung erfolgt durch eine enge Abstimmung, gute Kooperation und ein gemeinsames Programmmanagement.

Literatur:

1 BMWi, BMU, BMBF: Gemeinsame Initiative zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet von Energiespeichertechnologien vom 21. April 2011, Bundesanzeiger 75/2011, S. 1840 f.

3 Forschungsförderung des BMWi

3.1 Energieeinsparung und Energieeffizienz

Die Bundesregierung strebt in ihrem Energiekonzept eine Begrenzung des Primärenergieverbrauchs an. Bis 2020 soll der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 20 % und bis 2050 um 50 % sinken. Das Erreichen dieser Ziele ist deswegen von so zentraler Bedeutung, weil die Höhe des Primärenergieverbrauchs in 2020 und 2050 darüber entscheiden wird, ob auch die anderen energiepolitischen Ziele der Bundesregierung erreicht werden können. Je erfolgreicher man bei der Reduzierung des Energiebedarfs ist, umso eher wird es gelingen, den Anteil der erneuerbaren Energien in dem angestrebten Umfang zu erhöhen. Und je weniger Kohle, Öl und Erdgas verbraucht werden, umso näher wird man dem Ziel kommen, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % und bis 2050 um mindestens 80 % gegenüber 1990 zu vermindern.

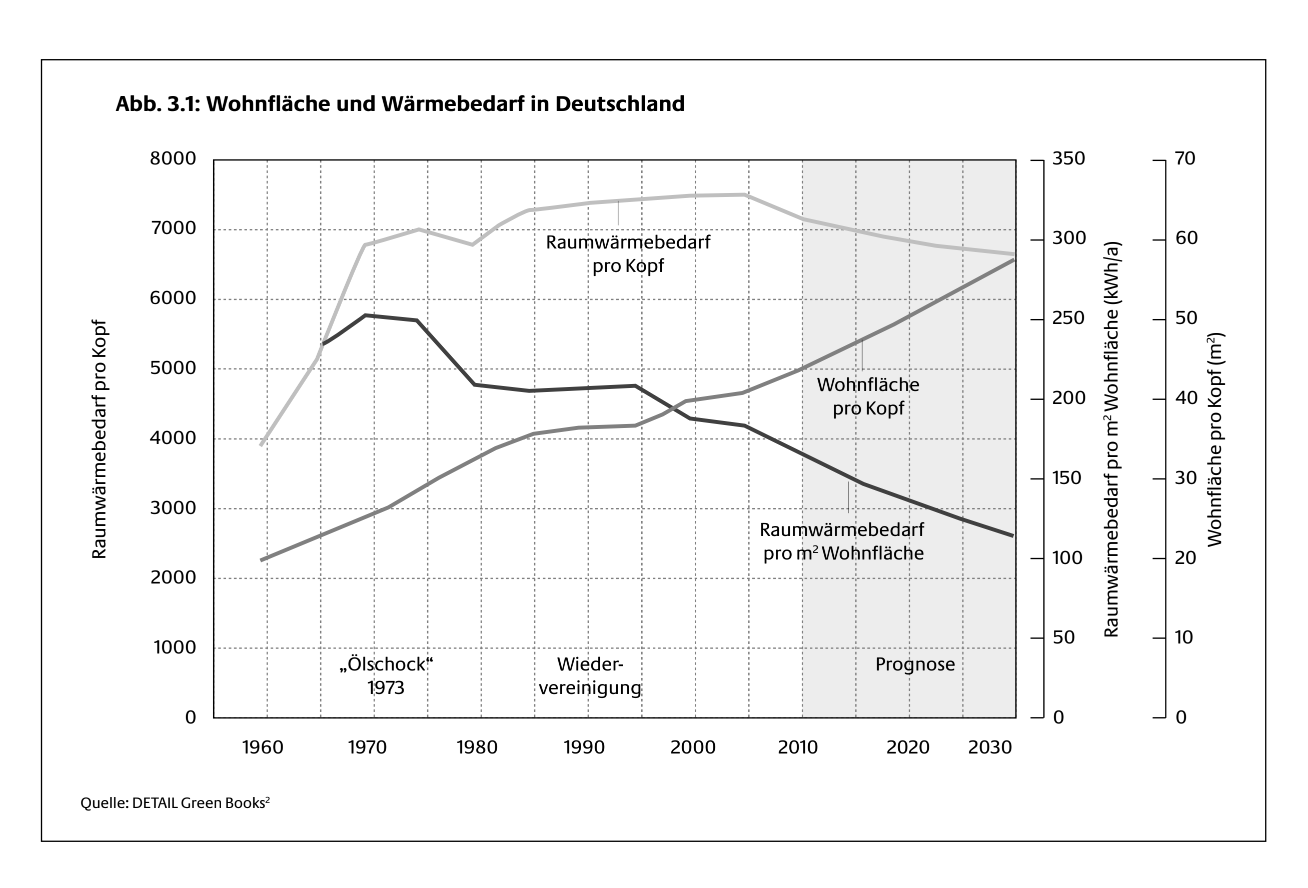
Die politische Vorgabe der Bundesregierung macht es notwendig, mit der Energieeinsparung auf allen Ebenen der Energiebilanz anzusetzen: bei der Energiegewinnung, bei der Energieumwandlung, beim Energietransport und vor allem bei der Energienutzung durch die Endverbraucher. Dementsprechend ist auch die Förderung von Forschung und Entwicklung von Energieeffizienztechnologien durch das BMWi breit aufgestellt. Aufgabe ist es, Investoren und Verbrauchern auf allen Ebenen und in allen Bereichen den Zugriff auf hocheffiziente, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energietechnologien zu ermöglichen.

3.1.1 Energieeffizienz im Gebäudebereich und Energieoptimiertes Bauen

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Gebäude sind zentrale Orte modernen Lebens. Mitteleuropäer verbringen den Großteil ihrer Zeit in Gebäuden und stellen dort hohe Anforderungen an den Raumkomfort. Allein für die Gebäudeversorgung werden in den rd. 40 Mio. privaten Haushalten und an mindestens 37 Mio. Arbeitsplätzen über 40 % der gesamten Endenergie in Deutschland eingesetzt. Das entspricht rd. 3.400 PJ. Der größte Einzelbeitrag,

Abb. 3.1: Wohnfläche und Wärmebedarf in Deutschland



Quelle: DETAIL Green Books[2]

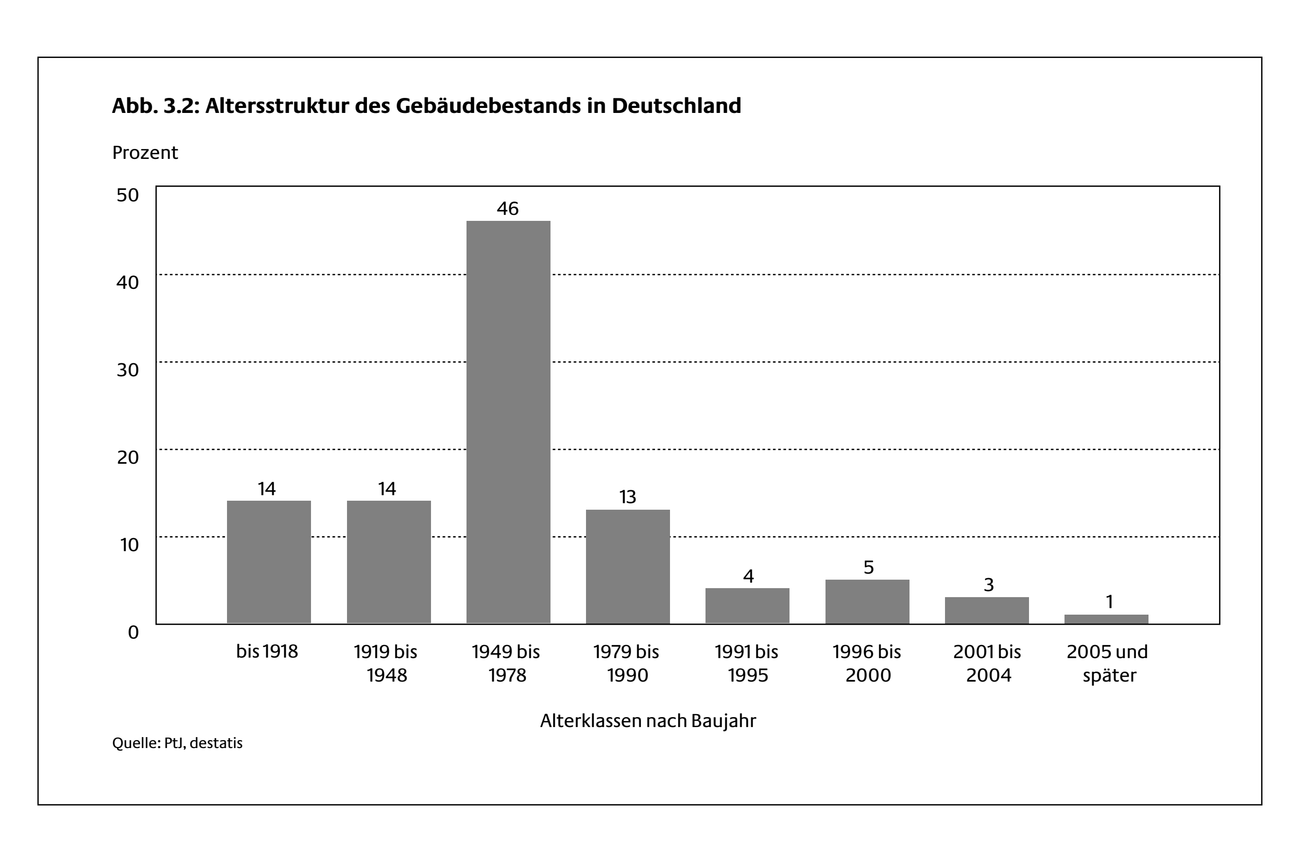
etwa 2.200 PJ, entfällt dabei auf die Wärmeversorgung der privaten Haushalte[1]. Der Wärmemarkt ist für die Energiepolitik von strategischer Bedeutung. Nur wenn es gelingt, auf diesem Feld Fortschritte zu machen, wird es möglich sein, die ambitionierten Ziele der Bundesregierung bei der Minderung des absoluten Energieverbrauchs und den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien zu erreichen.

Ein Rückblick belegt, dass durch den technischen Fortschritt und die dadurch mögliche Verschärfung der Energieeinsparverordnung (EnEV) der jährliche, auf die Wohnfläche bezogene Raumwärmebedarf von 210 kWh/m² Anfang der 1990er Jahre auf heute 160 kWh/m² gesenkt werden konnte. Der absolute Raumwärmebedarf hat sich jedoch im gleichen Zeitraum kaum verändert. Gründe dafür sind der soziale Wandel, demografische Veränderungen und Anpassung des Lebensstils. Alle Faktoren wirken in Richtung einer wachsenden Nachfrage nach Wohnfläche. Lag der Flächenbedarf 1960 in Deutschland noch bei etwa 20 m² pro Person, verdoppelte er sich bis 2009 auf rd. 43 m² (Abb. 3.1)[2]. Damit folgt Deutschland einem Trend, der nicht nur in den Industrieländern, sondern auch in den Entwicklungs- und Schwellenländern zu beobachten ist.

Nicht vergleichbar mit der Situation in anderen Ländern ist die spezifische Altersstruktur von Gebäuden in Deutschland. Bedingt durch die großen Zerstörungen im Zweiten Weltkrieg sind 46 % des Gebäudebestands in der Nachkriegszeit bis 1978 errichtet worden (Abb. 3.2). Weder gesetzliche Vorschriften (1. Wärmeschutzverordnung 1979) noch das Bewusstsein für energieoptimiertes Bauen angesichts sehr niedriger Energiepreise waren zu jener Zeit vorhanden. Der energetische Qualitätsstandard dieser Baualtersklasse ist aus heutiger Sicht dementsprechend in der Regel verbesserungswürdig.

Innovation und neue Energietechnologien sind eine wesentliche Voraussetzung für Fortschritte beim Stand der Technik im Gebäudebereich (Abb. 3.3). Innovation und neue Energietechnologien sind auch Voraussetzung für eine weitere Verschärfung des Ordnungsrechts und für die künftige Förderpolitik der Bundesregierung für mehr Energieeffizienz im Gebäudesektor. Mit der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009 einschl. der geplanten Novellierung in 2012), dem Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) und der Umsetzung der Europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD) setzt die Bundesregierung ihre Politik zur Effizienzsteigerung und Integration

Abb. 3.2: Altersstruktur des Gebäudebestands in Deutschland



Quelle: PtJ, destatis

erneuerbarer Energien in Gebäuden fort. Ziel ist es, bis 2050 in Deutschland einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu haben. Klimaneutral heißt, dass die Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und der verbleibende Energiebedarf überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt wird.

Die genannten Instrumente müssen im Rahmen der wirtschaftlichen Vertretbarkeit weiterentwickelt werden, um die Sanierungsziele zu erreichen. Dazu sind energierechtliche und ordnungspolitische Analysen erforderlich, die Gegenstand von Programmen des BMVBS und anderer Ressorts sind.

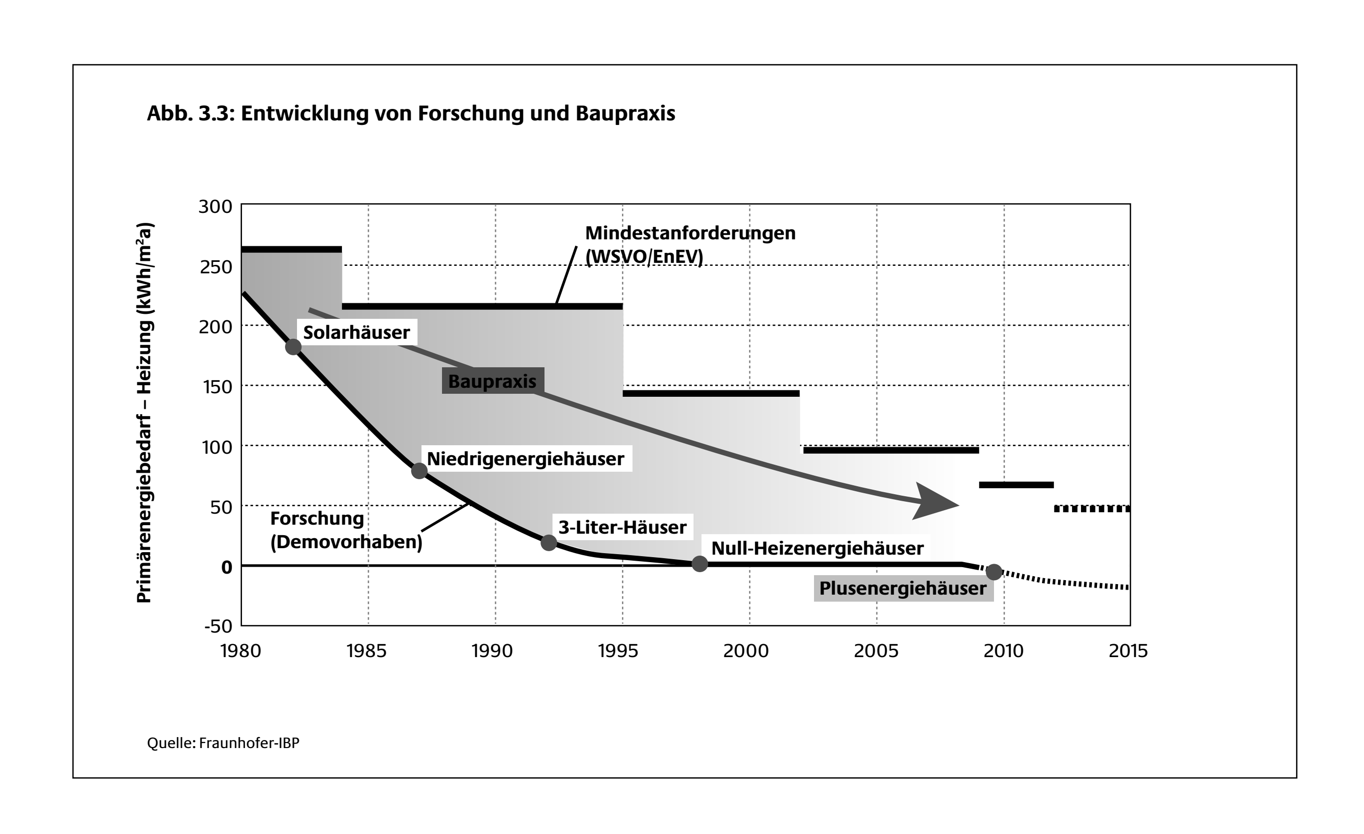
Technologieentwicklung und Förderstruktur

Energieoptimierte Gebäude sind technologisch gesehen keine ferne Vision. Schon heute sind Gebäude möglich, die einen minimalen Heiz- und Kühlbedarf haben und gleichzeitig hohen Anforderungen beim Komfort und der Architektur genügen. Sogar Null- und Plusenergiegebäude können realisiert werden[3]. Dabei ist die Kombination der vier folgenden Maßnahmen wichtig:

- → Optimierte Gebäudehülle (Wärme- und Sonnenschutz, Luftdichtigkeit, thermische Speicherkapazität).
- → Effiziente Systeme für Bautechnik und technische Gebäudeausrüstung (Wärmerückgewinnung, Niedrig-Exergie-Systeme).
- → Integration erneuerbarer Energien (Solarenergie, oberflächennahe Geothermie).
- → Betriebsoptimierung der eingebauten Systeme in Abstimmung mit dem Nutzungskonzept.

Maßnahmen zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration von Technologien für mehr Energieeffizienz im Gebäudebereich werden in der Forschungsinitiative „EnOB – Forschung für Energieoptimiertes Bauen“ zusammengefasst. Bei Pilot- und Demonstrationsprojekten im Rahmen von EnOB steht die gesamte Bauaufgabe im Mittelpunkt. Die Integration erneuerbarer Energien ist ein Teilaspekt davon. Fragestellungen zur Entwicklung von Solartechnologien sowie Einzelaspekte der Systemintegration von Solarenergie sind Gegenstand anderer

Abb. 3.3: Entwicklung von Forschung und Baupraxis



Quelle: Fraunhofer-IBP

Förderbereiche (s. Abschnitt 4.4). Dazu bildet die Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des BMVBS eine wichtige Ergänzung. Hier geht es vor allem um die Verbesserung der Nachhaltigkeit von zu bauenden und zu modernisierenden Gebäuden und baulichen Anlagen[4]. Um an dieser Stelle Synergien zu nutzen, plant die Bundesregierung eine ressortübergreifende, gemeinsame Forschungsinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“.

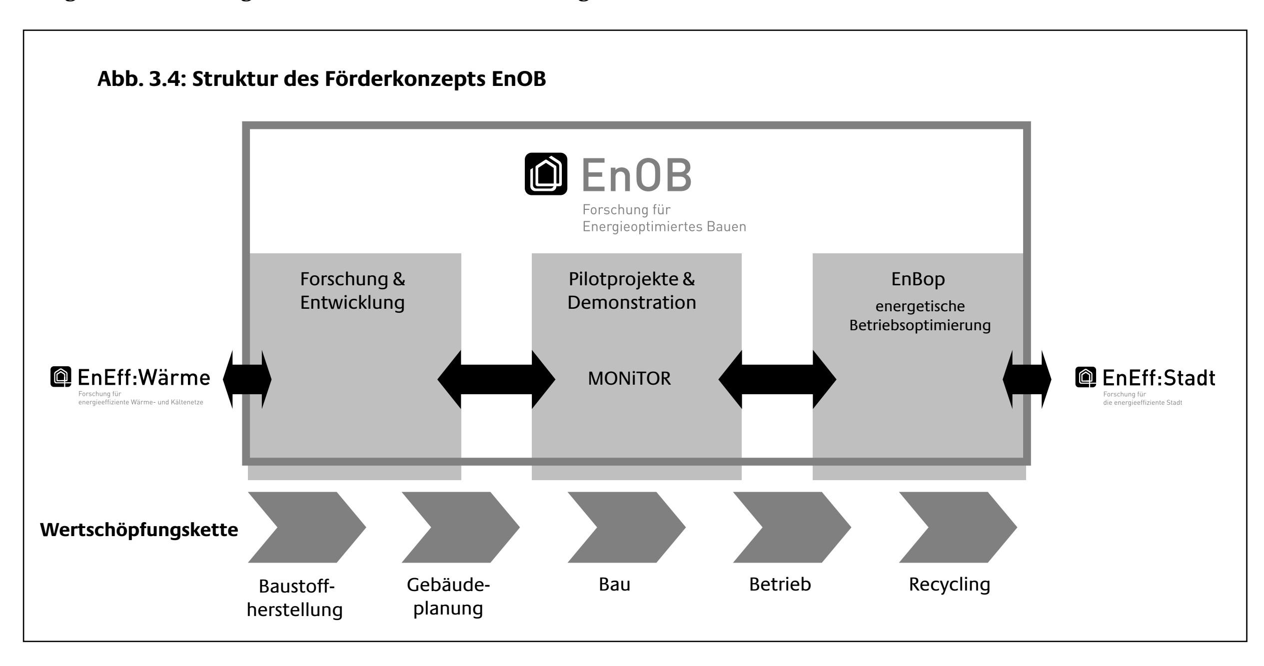
EnOB orientiert sich an dem Leitbild „Gebäude der Zukunft“: energieeffiziente und -optimierte, nachhaltige, funktionale, behagliche und nicht zuletzt architektonisch wertvolle Gebäude mit vertretbaren Investitions- und Betriebskosten.

Das Förderkonzept EnOB (Abb. 3.4) ist den fachlichen Erfordernissen entsprechend in Module untergliedert: Ein Schwerpunkt liegt bei **Forschung und Entwicklung** neuer Materialien sowie innovativer Technologien, Systeme und Konzepte. In **Pilotprojekten** werden technologische Innovationen und neue Konzepte umgesetzt mit dem Ziel, ihre Praxistauglichkeit zu prüfen und eine deutliche Senkung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem Stand der Technik bei energetischen Sanierungen bzw. eine positive Energiebilanz im Neubau zu demonstrieren. Alle Pilotprojekte werden im Rahmen des **MONiTOR**-Projekts wissenschaftlich begleitet (u. a. Langzeit-Monitoring, Dokumentation, Auswertung, Analysen). Die energetische Betriebsoptimierung **EnBop** ergänzt das Förderkonzept und bildet die Brücke von der Anwendung innovativer Technologien und Konzepte zur Bau- und Betriebspraxis.

Von wachsender Bedeutung ist schließlich eine Betrachtung der Systemzusammenhänge. Einer Verbindung zu dem Förderschwerpunkt **EnEff:Stadt** (Forschung für die energieeffiziente Stadt), der den über Gebäude hinausgehenden Bilanzraum untersucht, und zu dem Förderbereich **EnEff:Wärme** (Forschung für energieeffiziente Wärme- und Kältenetze) kommt insofern eine strategische Rolle zu. Forschungsarbeiten auf diesen Feldern bieten sich auch in besonderer Weise für die von der Bundesregierung angestrebte ressortübergreifende Zusammenarbeit an (Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt).

Die **internationale Zusammenarbeit** und der Wissensaustausch im Bereich energieeffizienter Gebäude werden zunehmend wichtiger. Deutschland partizipiert zielgerichtet an multilateralen Forschungskooperationen im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA). Das BMWi unterstützt zurzeit die deutschen Beiträge an den themenrelevanten *Implementing Agreements* der IEA, *Solar Heating and Cooling (SH&C)*, *Energy Conservation through Energy Storage (ECES)* und *Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS)*.

Abb. 3.4: Struktur des Förderkonzepts EnOB



Strategisch wichtige Förderbereiche

Die künftigen Fördermaßnahmen der Forschungsinitiative EnOB werden sich auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

→ **Kostenreduktion** hocheffizienter, innovativer Technologien, insbesondere für den breiten Einsatz bei energetischen Gebäudesanierungen mit dem Ziel, den Weg zur Marktdurchdringung vorzubereiten.

→ **Demonstration** von anspruchsvollen energetischen Sanierungen mit Schwerpunkt auf dem Einsatz vorgefertigter Module für eine nach Lage, Nutzung und Bautyp differenzierte Gebäudetypologie (u. a. innerstädtische Lage, Wohngebäude, Schulen, denkmalgeschützte Altbauten und besonders erhaltenswerte Bausubstanz), insbesondere dort, wo das Multiplikationspotenzial als hoch eingeschätzt wird.

→ **Systemische Betrachtung** entlang der Wertschöpfungskette (Herstellung-Planung-Bauen-Betrieb-Recycling) unter dem Aspekt der Steigerung der Energieeffizienz im gesamten Lebenszyklus und mit besonderem Schwerpunkt auf der energieintensiven Betriebsphase und der energetischen Optimierung mittels gering investiver Maßnahmen.

→ **Integrierte Betrachtung** des Gebäudes im Kontext seines Umfelds mit Blick auf die sinnvolle Einbindung als Energiesenke, Energiequelle oder Energiespeicher in lokalen Energieversorgungssystemen.

→ **Internationale Zusammenarbeit** in ausgewählten und eng begrenzten Feldern, um der wachsenden Bedeutung der globalen Energiemärkte Rechnung zu tragen.

Weitere Themen für die künftige Förderpolitik lassen sich für die Kategorien „Forschung und Entwicklung“ bzw. „Demonstration“ wie folgt zusammenfassen:

Passive Komponenten: Vorrangige Ziele in diesem Bereich sind die Weiterentwicklung von Hochleistungsdämmstoffen, wie z. B. Schäume mit Porenräumen im Nanometerbereich, und die Intensivierung der Arbeiten bei neuartigen Beschichtungstechnologien (u. a. selektive Beschichtung von Bauteiloberflächen).

Aktive Komponenten: Die Integration innovativer Energieumwandlungstechnologien in Bauteile sowie die Material- und Systementwicklung für thermische Speicherung stehen in diesem Bereich an erster Stelle. Bei der Schaltbarkeit von Bauelementen, wie z. B. Verglasungen, sind weitere Entwicklungsarbeiten notwendig. Darüber hinaus werden die Arbeiten zu effizienter Lüftungs- und Wärmepumpentechnologie sowie zu dezentralen Umwandlungstechniken, wie z. B. Mikro-KWK, fortgeführt.

Systeme: Nachhaltiger Energieeffizienzgewinn hängt im Wesentlichen von der Systemoptimierung im Prozess der Planung, Errichtung und des Gebäudebetriebes ab. Deshalb sind wissenschaftliche Arbeiten zur Weiterentwicklung der Werkzeuge auf dem Gebiet der Gebäudesimulation, des Gebäudemonitorings und der Gebäudeleittechnik notwendig. LowEx-Technologien zur exergetischen Optimierung der Energieumwandlungsprozesse bilden weiterhin einen wichtigen Schwerpunkt.

Zur Flankierung der Forschungsarbeiten wird der Einsatz neuartiger Technik in Demonstrationsvorhaben dokumentiert. Vom Erkenntnisgewinn aus dem Monitoring des realen Gebäudebetriebs profitieren neben der Wissenschaft insbesondere Akteure aus der Praxis. Die erhobenen Daten werden weiterhin der interessierten Fachöffentlichkeit über die **EnOB-Online-Datenbank** zugänglich gemacht. Die **Begleitforschung** soll künftig neben Analysen und Querschnittsauswertung die Vernetzung verwandter Förderschwerpunkte intensivieren und den Informations- und Wissenstransfer gewährleisten[5].

EnSan: Aufgrund der hohen Relevanz des **Gebäudebestandes** wird der Demonstration von Sanierungstechnologien deutlicher Vorrang eingeräumt. Leuchtturmprojekte sollen u. a. die energieoptimierte Umnutzung von Gebäuden in innerstädtischer Lage und den Einsatz vorgefertigter Baulösungen für die energetischen Teilsanierungen adressieren.

EnBau: Ausgerichtet auf das Leitbild „Gebäude der Zukunft“ wird im **Neubau** die Konsolidierung der Konzeption „Plus-Energie“ forciert und durch ausgewählte Demonstrationsvorhaben untermauert. Vorrangig zu untersuchende Nutzungstypen sind bei Nichtwohngebäuden zu finden. Insbesondere solche, die einen hohen spezifischen Energiebedarf haben, wie z. B. Hotels, Einkaufsstätten und andere Gewerbebauten.

Literatur:

1 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2009): Jahresbericht
2 Ebert, Essig, Hauser (2010): Zertifizierungssysteme für Gebäude, DETAIL Green Books
3 Voss, Musall: Nullenergiegebäude (2011): Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten, DETAIL Green Books
4 www.forschungsinitiative.de
5 www.enob.info

3.1.2 Energieeffiziente Stadt und dezentrale Energiesysteme

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

In Deutschland leben heute rd. 70 % der Bevölkerung in Städten. Infolge dessen konzentriert sich dort der Großteil des Gebäudebestands und der entsprechenden Energieinfrastruktur. Prognosen zufolge wird sich der Urbanisierungsprozess in Zukunft fortsetzen. Dies bedeutet, dass der Erfolg der Energieeinspar- und Klimapolitik in den Städten und Agglomerationen entschieden wird.

Der Verstädterungsprozess in Deutschland verläuft allerdings regional unterschiedlich und hängt stark von den jeweiligen wirtschaftlichen Ausgangsbedingungen ab. Während einige große Ballungszentren im Norden und Süden einen Bevölkerungszuwachs aufweisen, sind insbesondere die östlichen Regionen Deutschlands von einem Bevölkerungsrückgang betroffen. Daher müssen für die unterschiedlichen städtischen Strukturen möglichst schnell nachhaltige Lösungen zur Energieeinsparung, Energieeffizienz und damit zum Klimaschutz gefunden und umgesetzt werden. Je nach Ausgangslage stehen die Sanierung bzw. der Rückbau des städtischen Gebäudebestandes sowie die Anpassung der Energieinfrastruktur im Fokus. Dabei sind zwei Aspekte wichtig:

→ Die **Erhöhung der Akzeptanz** durch Investoren und Mieter ist Voraussetzung für den breiten Einsatz innovativer Energieeffizienztechnologien im Gebäudebestand. Dafür muss ein Angebot an technisch und gleichzeitig ökonomisch sinnvollen Maßnahmen vorhanden sein.

→ Die laufende Senkung des Energiebedarfs von Gebäuden verursacht einen Konflikt mit dem wirtschaftlichen Betrieb der leitungsgebundenen Energieversorgung. Dies erfordert die **Transformation kommunaler Energieversorgungssysteme** hin zu dezentralen Systemen mit einem hohen Anteil an Kraft-Wärme-Kopplung und flexibler Anpassung an wechselnde Nachfrage.

Städte zählen zu den kompliziertesten Strukturen, wenn es darum geht, optimale Lösungen hinsichtlich der Energieeffizienz zu entwickeln und umzusetzen. Diese Komplexität resultiert aus der heterogenen Struktur der städtischen Quartiere, die sich aus der vorhandenen baulichen Substanz, aus den stadtplanerischen Entwicklungszielen, der Nutzungsdiversität, der Unterschiedlichkeit der Energieversorgungsstrukturen, der Vielschichtigkeit der Eigentumsverhältnisse und damit unterschiedlichen Interessenlagen der zahlreichen Entscheidungsträger und Akteure ergibt. Zusätzlich wird die Quartiersentwicklung durch energie-, wirtschafts- und arbeitspolitische sowie verkehrspolitische Maßnahmen stark beeinflusst, die durch aktuelle gesellschaftliche Trends verstärkt werden.

Methoden zur Erstellung kommunaler Energiekonzepte wurden bereits Ende der 1980er Jahre im Rahmen mehrerer Bundesprogramme entwickelt[2]. Diverse Leitfäden und Handlungsanleitungen zur Erstellung dieser Konzepte, zum örtlichen Energiemanagement und zu anderen Teilbereichen kommunaler Energiepolitik liegen vor. Die Erfahrungen in der praktischen Umsetzung haben gezeigt, dass Erfolge in der Energieeinsparung städtischer Strukturen erreichbar sind, jedoch nicht im gewünschten Umfang. Selbst Städte, die das politische Selbstverständnis einer „Energiewende“ hin zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung pflegen, haben hinsichtlich der Verringerung des Primärenergieeinsatzes oder der CO_2-Emissionen die Erwartungen nicht erfüllt.

Die Gründe für die bisher bescheidenen Erfolge liegen zum einen in der oben beschriebenen Komplexität des „Systems Stadt“ und der damit zusammenhängenden Prozesse und zum anderen an mangelnden finanziellen Spielräumen. Methodische Defizite erschweren die Umsetzung zusätzlich, insbesondere wenn es darum geht, Energiebilanzen auch auf der Ebene von Quartieren und Stadtteilen zu erstellen, konkrete Handlungsfelder zu identifizieren, daraus eine langfristige Strategie abzuleiten und diese auf Quartiersebene in konkrete Projekte umzusetzen.

Die Anforderungen an die künftige „Energieeffiziente Stadt“ und die damit einhergehenden Transformationsprozesse konzentrieren sich nicht nur auf den rein energetischen Aspekt. Weitere Faktoren wie Demografie, Stadt-Umland-Konflikte, neue Formen des Wohnens, Arbeitens und der Mobilität – insbesondere die Einführung der Elektromobilität sowie baukulturelle Ansprüche an das Stadtbild und Denkmalpflege – beeinflussen stark die Energiefrage in den Städten. In Zukunft wird es darauf ankommen, die energetische Transformation als ein Element der gesamten Stadttransformation zu begreifen und in die laufenden Prozesse zu integrieren. Umso wichtiger ist ein ganzheitlicher Ansatz, der die Energiestrategie als Teil einer gesamtstädtischen Entwicklungsstrategie ansieht. Letztendlich gilt es, die methodischen Ansätze auf die Erfordernisse kommunalen Handelns herunterzubrechen und Aspekte der energetischen Neustrukturierung beispielhaft und qualitätvoll zu realisieren.

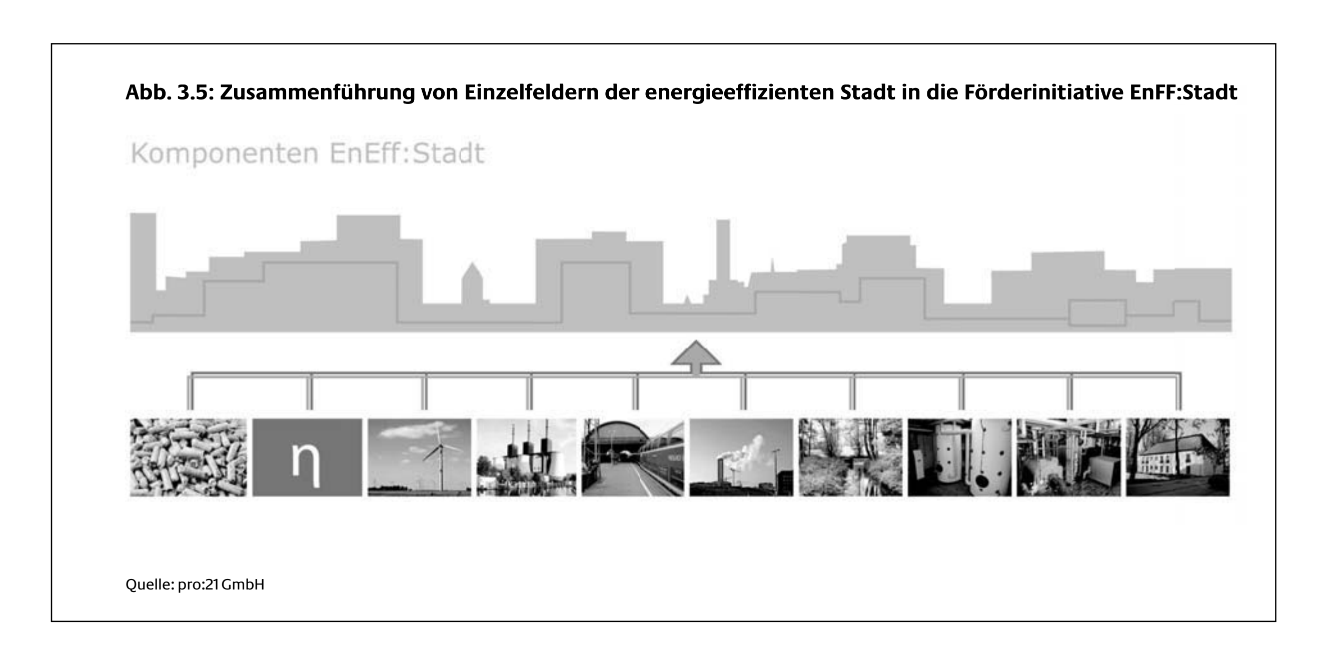
Förderstruktur

Kommunale Strategien oder Entwicklungskonzepte werden nicht auf einmal und flächendeckend verwirklicht, sondern punktuell auf Quartiersebene, wobei meist ein spezieller Auslöser (ein größeres Neubauprojekt, die Notwendigkeit für eine Quartiersentwicklungsmaßnahme u. dergl.) vorliegt.

Der Förderschwerpunkt **„Energieeffiziente Stadt“ (EnEff:Stadt)** des BMWi konzentriert sich daher auf lokal ausgerichtete **Gesamtlösungen auf Quartiersebene**, die gleichzeitig in eine gesamtstädtische Langzeitstrategie integriert sind. Es werden beispielhafte kostenoptimierte Quartierskonzepte, deren Umsetzung und die dazugehörige Evaluierung gefördert mit dem Ziel, eine Beschleunigung der erforderlichen Transformationsprozesse in städtischen Energieversorgungsstrukturen zu erreichen. Diese Vorgehensweise ermöglicht die in der Praxis notwendige Entkopplung von der oben erwähnten gesamtstädtischen Komplexität und damit eine Fokussierung der Planungsaufgabe auf die energetische Optimierung auf Quartiersebene.

Mit Blick auf den „Systemoptimierungsansatz“ wird in praktischen Quartiersprojekten der Förderinitiative

Abb. 3.5: Zusammenführung von Einzelfeldern der energieeffizienten Stadt in die Förderinitiative EnFF:Stadt



Quelle: pro:21 GmbH

EnEff:Stadt weniger der Piloteinsatz einzelner Innovationen, sondern der Einsatz im Rahmen eines techno-ökonomisch optimierten Gesamtkonzeptes in den Fokus gerückt. Dies erhöht die Chancen zur realen Anwendung und das Multiplikationspotenzial.

Aufgrund der inhaltlichen Nähe und der gemeinsamen Zielsetzung, zur Entwicklung energieeffizienter Stadtquartiere beizutragen, wurden die bereits bestehenden Förderinitiativen „Energieeffiziente Stadt“ (EnEff:Stadt) und „Energieeffiziente Fernwärme- und -kälteversorgung“ (EnEff:Wärme) miteinander verkoppelt. Dadurch genutzte Synergievorteile tragen dazu bei, die vorhandenen Fördermittel gezielter und effizienter einzusetzen.

Die Förderinitiativen EnEff:Stadt und EnEff:Wärme werden jeweils in zwei Module, **„FuE-Projekte“** und **„Pilotprojekte“**, unterteilt. „FuE-Projekte“ der Initiative EnEff:Stadt umfassen die gezielte Entwicklung und Evaluierung von Modellen und Planungshilfsmitteln für allgemeine und spezielle Anwendungen. Bei der EnEff:Wärme dagegen steht in diesem Modul die Entwicklung und Optimierung dezentraler und kommunaler Versorgungstechnologien im Fokus. Das Modul „Pilotprojekte“ ergänzt beide Forschungsinitiativen und zielt auf die beispielhafte Anwendung innovativer Technologien und Konzepte im jeweiligen Kontext ab (Stadtquartiere bei der EnEff:Stadt und Technologien der kommunalen Energieversorgung bei der EnEff:Wärme). Grundsätzlich orientieren sich die Pilotprojekte beider Forschungsinitiativen an den folgenden Leitlinien:

→ **Konzentration** auf die wesentlichen in Deutschland vorkommenden Siedlungstypen mit Bezug zu den wichtigen städtebaulichen und versorgungstechnischen Aufgaben der Zukunft. Dabei geht es primär um die Bereiche Sanierung, Umnutzung, Nachverdichtung und Rückbau und nur in selteneren Fällen um den Bereich Neubau.

→ **Integration** relevanter Aspekte in allen Projektphasen. Dies betrifft vor allem die Umsetzung eines „integrierten systemischen Gesamtansatzes“, bei dem alle örtlichen und überörtlichen Potenziale der Energieeinsparung und energetischen Effizienzverbesserung berücksichtigt und die relevanten Akteure in die Planungs- und Entscheidungsprozesse einbezogen werden. Neben den Ansätzen im Gebäudesektor und bei der Energieversorgung können beispielsweise Aspekte der Elektromobilität integriert werden. Ebenso werden nichtenergetische Entscheidungsfaktoren, darunter Aspekte der baukulturellen

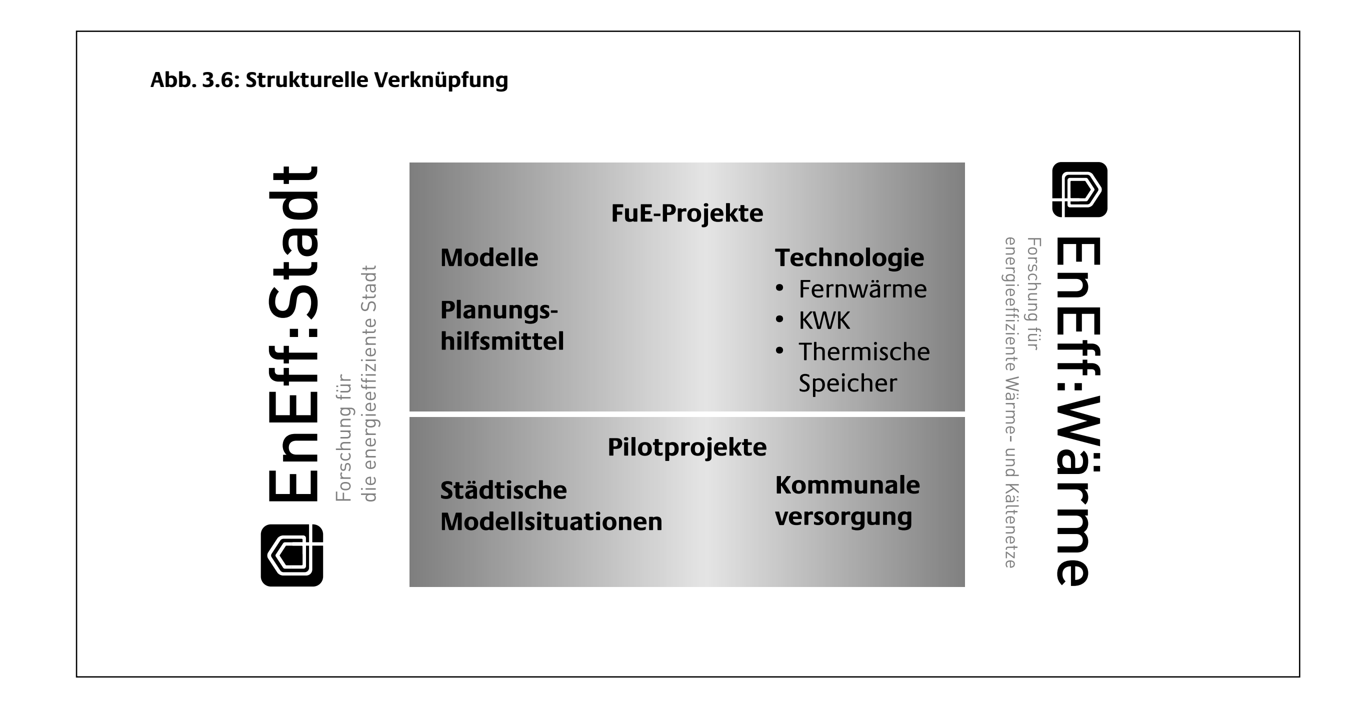


Abb. 3.6: Strukturelle Verknüpfung

Qualität und der Denkmalpflege sowie der öffentlichen Akzeptanz im Sinne einer nachhaltigen städtischen Gesamtentwicklung betrachtet.

→ **Kommunikation** der Ergebnisse. Neben der Gewährleistung der Datenverfügbarkeit geht es insbesondere darum, methodische Neuentwicklungen und Erkenntnisse aus der Arbeit der Begleitforschung in der Fachöffentlichkeit und bei lokalen Akteuren zu verbreiten. Die projektinterne Kommunikation im Sinne einer umfassenden Akteursbeteiligung auf der städtischen bzw. kommunalen Ebene sowie Lernprozesse innerhalb der im Programm geförderten Projekte sind ebenfalls wichtige Elemente.

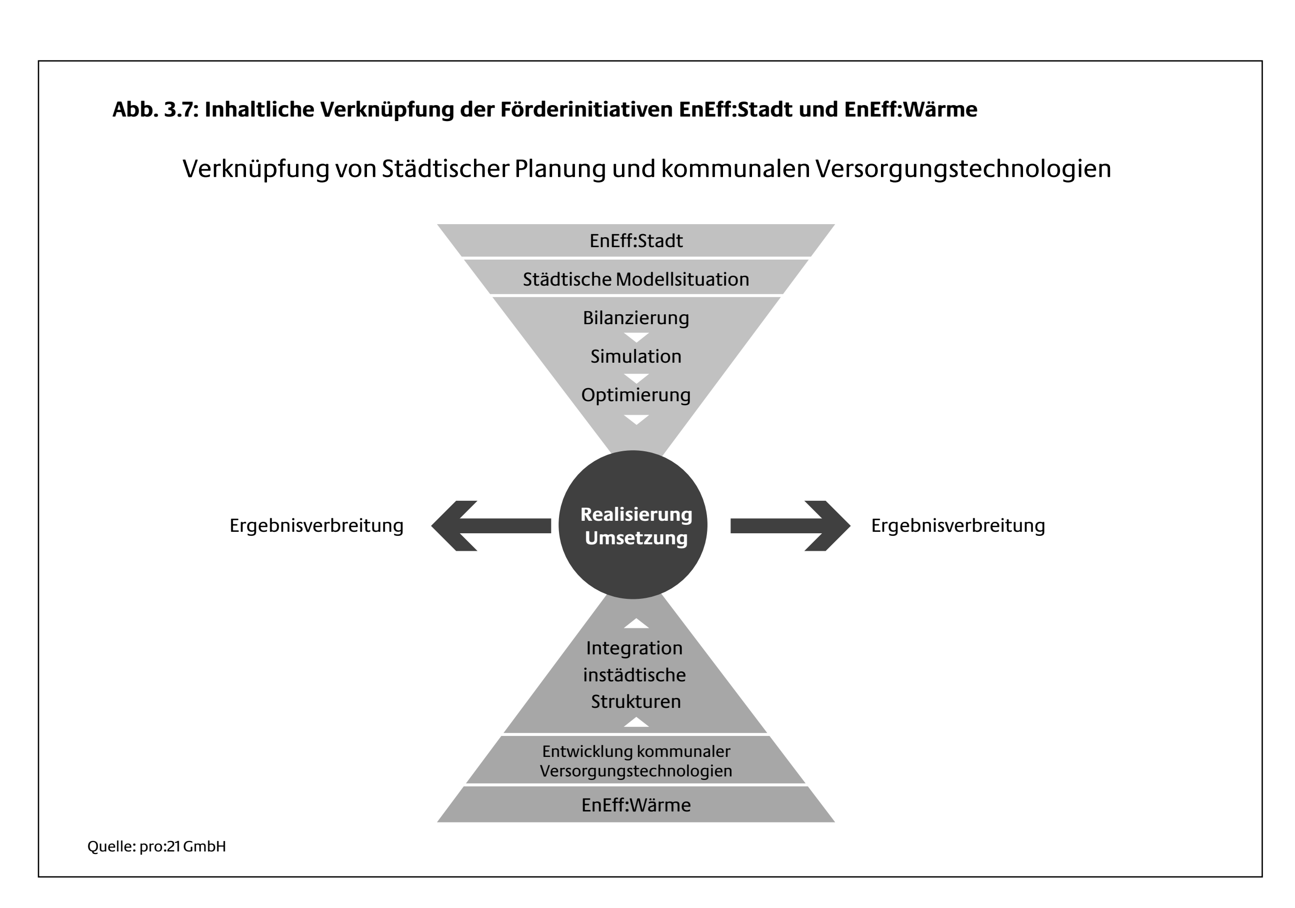
Die Verkoppelung der beiden Förderinitiativen garantiert die inhaltliche Verknüpfung von städtischer Planung mit kommunalen Versorgungstechnologien, z. B im Bereich der Fern- und Nahwärmenutzung (Abb. 3.7). Während EnEff:Stadt im Ergebnis über die Bilanzierung der Ausgangssituation und die Simulation möglicher Szenarien den Weg zu optimalen Bedarfs- und Versorgungssituationen weist, gewährleistet EnEff:Wärme nach der Entwicklung innovativer kommunaler Versorgungstechnologien im Rahmen der Pilotprojekte die Integration in ausgewählte städtische Strukturen.

Die Verknüpfung der beiden Initiativen trägt zur Umsetzung der technisch und ökonomisch sinnvollen Maßnahmen bei. Die enge Einbindung lokaler Anwender, Planer und anderer relevanter Akteure gewährleistet eine hohe Akzeptanz der Methodik und der technischen Lösungen. Die Verbreitung der Ergebnisse in die gängige kommunale Planungspraxis ist wichtiger Bestandteil der Forschungsförderung. Nur so werden die Ergebnisse dauerhaft Eingang in die Umsetzungspraxis finden[4].

Strategisch wichtige Förderbereiche

Mit Blick auf die künftigen Herausforderungen bei der Transformation kommunaler Energieversorgungssysteme werden sich die Fördermaßnahmen für den Teilbereich EnEff:Stadt auf die folgenden

Abb. 3.7: Inhaltliche Verknüpfung der Förderinitiativen EnEff:Stadt und EnEff:Wärme



Quelle: pro:21 GmbH

energiewirtschaftlich wichtigen Themenschwerpunkte konzentrieren:

EnEff:Stadt – FuE-Projekte

Planungs- und Optimierungsmethoden für Stadtquartiere, aber auch die zugehörigen Planungshilfsmittel müssen die Beschreibung der realen Situation und damit die Bilanzierung der Energiebedarfs- und -angebotssituation ermöglichen, und sie sollten über die Simulation der Konsequenzen verschiedener Entscheidungspfade die Grundlage für die Entwicklung energetisch und ökonomisch sinnvoller, optimaler Entscheidungen liefern. Unter Nutzung dieser Methoden und Werkzeuge müssen ökonomische Lösungen zur Systemoptimierung aufgezeigt werden und diese in konkreten kommunalen Gegebenheiten Anwendung finden. Die eingesetzten Planungshilfsmittel müssen darauf ausgerichtet sein, Akzeptanz bei Planern und kommunalen Verantwortlichen herzustellen. Die Entwicklung und Erprobung der Planungswerkzeuge muss daher in enger Abstimmung mit Praktikern erfolgen.

EnEff:Stadt – Pilotprojekte

Pilotprojekte stellen den Schwerpunkt der Förderinitiative EnEff:Stadt dar und folgen dem Leitgedanken des systemischen Ansatzes. Sie sind notwendig,

- → um zu zeigen, wie bei unterschiedlichen städtischen Strukturen integrale Lösungsansätze entwickelt und effizient umgesetzt werden können,
- → um neu entwickelte Planungshilfsmittel zur Systemoptimierung zu erproben, zu verbessern und den kommunalen Praxisanforderungen anzupassen,
- → um die erreichbaren Ergebnisse/Effekte zu messen und damit die Beweisführung für gute und beste Praxisbeispiele anzutreten,
- → um zu zeigen, wie die komplexen Akteurs- und Organisationsstrukturen, die solche städtische Planungsprozesse mit sich bringen, entwickelt und genutzt werden können.

Neben den bisherigen Projekttypen, die Stadtquartiere adressieren, haben sich zwei neue Projekttypen herausgebildet, die in Zukunft verstärkt weiter verfolgt werden, die sogenannten „Cluster-Projekte“ und die „Campus-Projekte“.

„Cluster-Projekte“ gehen davon aus, dass es oft sinnvoll sein kann, die örtlich aufgebauten Netzwerke an Entscheidungsträgern und deren Umsetzungserfahrungen zu nutzen, um mehrere erfolgversprechende Projekte in einer Stadt parallel voranzutreiben, die dann den Einstieg in eine energetische Transformation der Stadt insgesamt auslösen und als Beispiel für andere Städte dienen können. Ein solcher „Cluster“-Ansatz erfordert den Aufbau genau jenes Netzwerks von Akteuren, Know-how-Trägern, Entscheidern und Multiplikatoren, das benötigt wird, um einen dauerhaften Impuls für eine nachhaltige Stadtentwicklung auszulösen. Deshalb werden solche „Cluster-Städte“ gezielt ausgewählt, um den Aufbau einer kommunalen Eigendynamik unter Einbeziehung externer Know-how-Träger zu forcieren.

Auch Stadtentwicklungsprojekte kommen ohne Leuchtturmprojekte nicht aus. In solchen Projekten stehen häufig Fragen der Kosteneffizienz hinter der Fokussierung auf technische Innovationen oder kreative Lösungen zurück, die so in einem Stadtquartier flächendeckend nicht umgesetzt werden könnten. Hierfür bieten sich jedoch **„Campus-Projekte“** an: Projekte, bei denen mehrere Gebäude auf einem Hochschul- oder Universitäts-Campus (oder der Campus insgesamt) erneuert oder neu errichtet werden. Falls solche Projekte mit anspruchsvollen technischen Innovationen im Gebäude- und Energiebereich sowie bei der Planung verknüpft und diese auch zu Lehr- und Forschungszwecken eingesetzt werden, sind sie als „Pilotprojekte“ Vorbilder für moderne Quartierskonzepte und als solche für das Förderprogramm EnEff:Stadt von hohem Interesse.

EnEff:Wärme – FuE-Projekte

Im Teilbereich EnEff:Wärme werden die Forschungsthemen als prioritär eingestuft, die dazu dienen, die dezentralen Energieversorgungstechnologien sowie Fernwärme-Technologien primärenergetisch, exergetisch, wirtschaftlich und ökologisch deutlich zu verbessern. Dazu gehören u. a. folgende Technologielinien: KWK-Techniken, Wärme- und

Kälteerzeugungstechniken, Wärmetauschersysteme, Rohrleitungs- und Verlegetechnik, LowEx-Hausübergabestationen einschließlich verlustarmer Warmwasserbereitstellung, Messtechniken, angepasste Gebäudetechnologien, Wärmeträgermedien, neuartige Netze, Strukturen und optimierte Betriebsweisen, Gesamtsystemoptimierung. Ein neuer Aspekt dabei ist die Nutzung vorhandener und neuer Wärme- und Kältenetze als Sammelschienen für dezentral anfallende Abwärme (z. B. Einspeisung aus Industrieprozessen, dezentralen KWK-Anlagen, Solarwärme und sonstigen erneuerbaren Energieträgern). Da eine mögliche dezentrale Einspeisung in Wärmenetze für die Fernwärme-Versorgungsunternehmen noch ein besonderes technisches Problem darstellt, wird dieses Thema verstärkt untersucht.

Einen weiteren Schwerpunkt der künftigen Forschungsförderung stellt die thermische Speicherung dar, da sie bei der Optimierung von Energiesystemen zunehmend an Bedeutung gewinnt. Dabei wird ein breites Spektrum an innovativen technischen Ansätzen (u. a. Sorptionsspeicher, thermochemische Speicher) und Anwendungen verfolgt. Künftige Maßnahmen umfassen sowohl die technologische Entwicklung als auch die Optimierung der Systemintegration. Sie konzentrieren sich vor allem auf die Entwicklung geeigneter Speichermedien und hocheffizienter Speicherverfahren sowie auf die Erarbeitung erforderlicher Simulationswerkzeuge und die experimentelle Umsetzung neuer Speicherkonzepte. Die deutliche Senkung der Herstellungskosten ist ein wichtiges Ziel der Fördermaßnahmen. Inhaltliche Verbindungen des Themas zum Förderbereich „Energiespeicher“ werden synergetisch genutzt (s. Abschnitt 3.1.4).

EnEff:Wärme – Pilotprojekte

Eine besondere Priorität im Bereich der Forschung für effiziente Wärme- und Kälteversorgungssysteme bekommt die Förderung zukunftsweisender und beispielhafter Pilotprojekte, einschließlich innovativer Konzepte zur Abwärmenutzung, multiplen Wärmeeinspeisung und thermischen Speicherung. Die Förderung wird sich auf eine Unterstützung von neuartigen Planungskonzepten, die Erprobung innovativer Einzelkomponenten und auf ein anschließendes Messprogramm mit Betriebsoptimierung und Evaluierung erstrecken. Im Förderkonzept EnEff:Wärme sind Auswahlkriterien aufgestellt worden, die regelmäßig evaluiert werden und die Qualität der Pilotprojekte sicherstellen sollen.

Die notwendige Ausweitung der Fernwärmeversorgung in Bestandsgebiete und Gebiete mit niedriger Wärmedichte hat mit Blick auf die energiewirtschaftliche Bedeutung eine hohe Priorität. Sie kann nur gelingen, wenn der technische und planerische Aufwand der Wärmeverteilung drastisch gesenkt sowie der exergetische Vorteil und der Energieeffizienzgewinn dieser Versorgung deutlich gemacht werden können. Entscheidend ist dabei auch eine Einbeziehung der zu versorgenden Gebäude im Rahmen einer integralen Betrachtung inklusive Wärmeerzeugung, -transport und -verteilung und ggf. -speicherung. Die Demonstration und messtechnische Evaluierung innovativer Konzepte in den Bereichen „Energetische und exergetische Verbesserung bestehender Systeme“ und „Innovative neue Wärmenetze“ werden daher besonders forciert.

Weitere wichtige FuE-Themen im Umfeld der effizienten Wärme- und Kälteversorgung sind:

- Einsatzmöglichkeiten von Groß-Wärmepumpen in der Fernwärme
- Verbesserung von Mikro-KWK hinsichtlich der Stromkennzahl, der Betriebsoptimierung und der Wirtschaftlichkeit sowie Kopplung mit Speichern und gegebenenfalls Einbindung in virtuelle Kraftwerke
- Thermisch angetriebene Wärmepumpen, insbesondere zur Abwärmenutzung und Bereitstellung von Fernkälte
- Planung und Betrieb von komplexen NT-Netzen/Kältenetzen mit mehreren Wärmequellen und Speichern
- Nutzung moderner IKT-Möglichkeiten für die Betriebsoptimierung, einschließlich intelligenter Zähler (smart meters) sowie Netzüberwachung
- LowEx-Systeme und energetische Gesamtsystem-Optimierung

→ Erprobung und Validierung von Speicherkonzepten zur Optimierung der Systemintegration und zur Entwicklung geeigneter Betriebsstrategien von thermischen Speichern

Kommunikation, Breitenwirkung und Kooperationen

Anhand der Umsetzung am konkreten Modellfall sollen die Ergebnisse der Pilotprojekte sowie die eingesetzten Methoden und Planungswerkzeuge ihre Praxistauglichkeit belegen. Diese Ergebnisse gilt es unter Einbindung der Nutzer, Praktiker und Entscheidungsträger für die breite Planungs- und Entscheidungspraxis so aufzubereiten, dass sie dort Eingang finden. Handbücher und Leitfäden, Kongresse und Workshops unter Beteiligung der relevanten Multiplikatoren sind daher wichtige Instrumente zur zielgruppenorientierten Wissensvermittlung[1].

Um die bestmögliche Ergebnisverwertung zu erreichen, wird im Rahmen der EnEff:Stadt die Vernetzung mehrerer Politikbereiche angestrebt. Insbesondere Aspekte der Stadtentwicklungs- und Verkehrspolitik werden mit relevanten Aktivitäten des für diese Politikbereiche federführend zuständigen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in diesem Bereich abgestimmt.

Gleichzeitig steht die Forschungsinitiative EnEff:Stadt auch im Kontext mehrerer internationaler Aktivitäten. Dabei bildet das IEA-Implementing-Agreement *„Energy Conservation In Buildings And Community Systems" (ECBCS)* einen geeigneten Rahmen für multilaterale Forschungskooperationen. Das BMWi hat 2009 die Initiierung des Annex 51 *„Energy Efficient Communities"* unterstützt und fördert den deutschen Beitrag. Die Bandbreite der Aktivitäten reicht vom Ergebnisaustausch auf Basis internationaler Fallstudien und Pilotprojekte bis hin zur Entwicklung eines Planungsleitfadens für kommunale Entscheider und Anwender[3].

Literatur:

1 Erhorn-Kluttig et al. (2011): Energetische Quartiersplanung, Fraunhofer IRB Verlag
2 Roth et al. (1980): Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen
3 www.annex51.org
4 www.eneff-stadt.info, www.eneff-waerme.info

3.1.3 Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

In Deutschland gehört der Sektor Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (IGHD) zu den großen Energieverbrauchern. Seine Stellung in der Energiebilanz hat sich aber in den letzten Jahren verringert[1]. So ist der Anteil dieses Sektors am Endenergieverbrauch von 50 % (1990) auf 42 % (2009) zurückgegangen. In absoluten Zahlen ist dies eine Verminderung des Energieverbrauchs um 22 % von 4.711 PJ (1990) auf 3.675 PJ (2009).

Diese rückläufige Entwicklung des Energieverbrauchs hat viele Ursachen. Ein zentraler Faktor ist die Umstrukturierung der Industrie in den neuen Bundesländern und die damit verbundene Verbesserung der Energieeffizienz. Auch die Verlagerung von energieintensiver Produktion ins Ausland spielt eine Rolle. Ausschlaggebend waren aber vielfältige technologische Verbesserungen, die nur durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung ermöglicht wurden. Wesentliche Beiträge an Energieeinsparungen wurden gerade von Branchen mit großem Energiebedarf erbracht. So konnte etwa im gleichen Zeitraum durch die Steigerung der Energieeffizienz die für die Rohstahlerzeugung anfallende spezifische CO_2-Emission von 1,59 auf 1,37 t Kohlendioxid pro Tonne Rohstahl verringert werden. Insgesamt wurde dadurch trotz leichter Steigerung der Produktionsmenge der Energiebedarf gesenkt[4].

Strom ist im Sektor IGHD ein wichtiger Energieträger[1]: Im Jahr 2009 fielen 68 % des Stromverbrauchs in diesen Bereich. Betrachtet man die Zusammensetzung des Endenergieverbrauches in den einzelnen Sektoren (Abb. 3 .8), so ist im zeitlichen Verlauf zu erkennen, wie der Energieträger Strom in den vergangenen Jahrzehnten in IGHD an Bedeutung gewonnen hat, während der Strom-Anteil in den übrigen Sektoren (Haushalte und Verkehr) annähernd unverändert geblieben ist. Wurde 1990 der Endenergieverbrauch in IGHD jeweils zu etwa einem Viertel durch Strom gedeckt, ist heute der Anteil dieses hochwertigen Energieträgers, nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Automatisierung, bereits auf ein Drittel gestiegen. Somit ist zu erwarten, dass

in Hinblick auf die CO_2-Bilanz Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz der Stromnutzung in den Sektoren IGHD besonders wirksam werden.

Der steigende Anteil von Strom und auch Erdgas in IGHD führt zu einer wachsenden Abhängigkeit der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit gegenüber Veränderungen in den Energiekosten: Abb. 3.9 zeigt exemplarisch für einzelne Branchen des verarbeitenden Gewerbes, dass sich der Energieverbrauch zunehmend auch zu einem Kostenfaktor entwickelt hat.

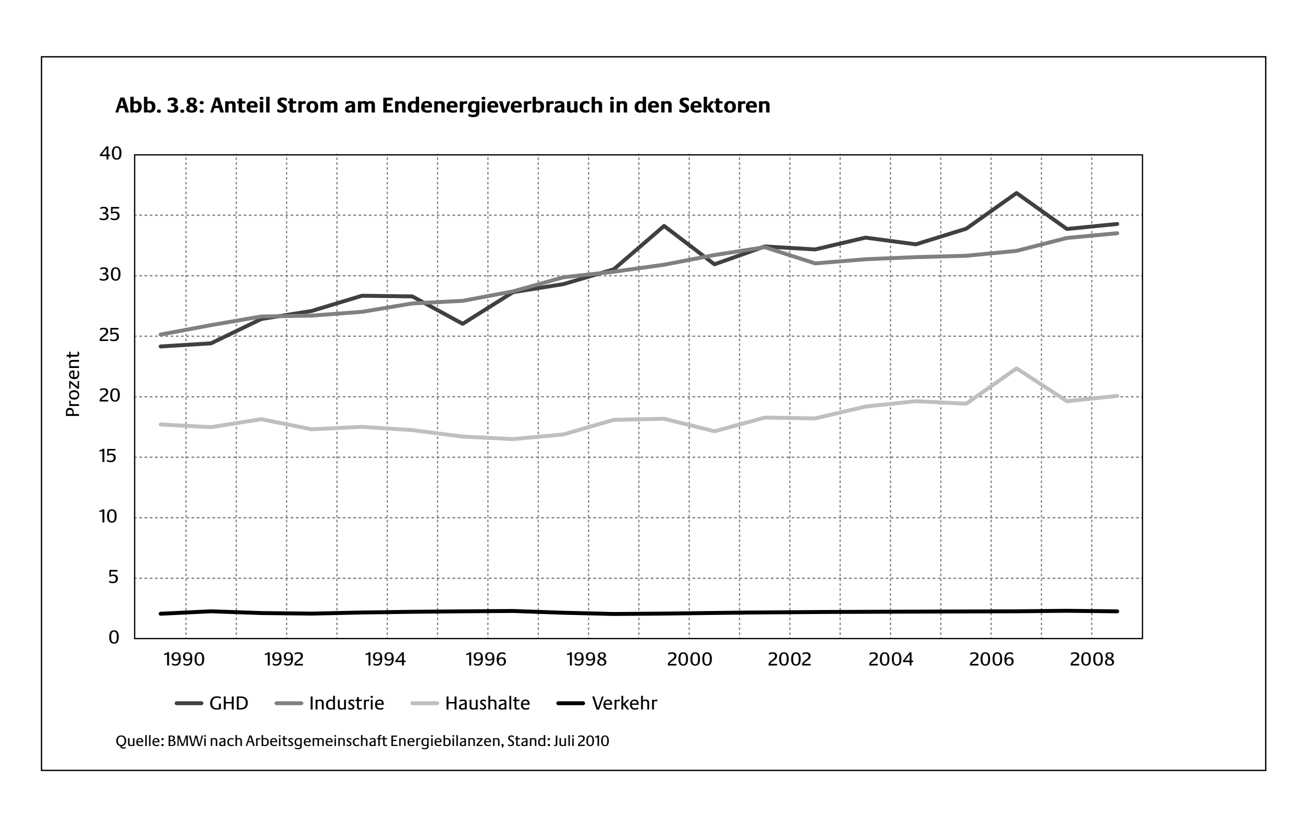
Technologieentwicklung und Förderstruktur

Energieeinsparungen im industriellen Sektor werden – mit Blick auf die klassische Energiekette mit den drei Phasen „Bereitstellung der Energie aus dem Primärenergieträger“, „Nutzung der Energie im Prozess“ und „Ableitung der ungenutzten Energie“ – zunächst durch die Optimierung existierender Prozesse erreicht. Wo durch Modifikationen der Prozessparameter in Theorie, Simulation und Experiment keine weiteren Verbesserungen mit vertretbarem Aufwand zu erreichen sind, machen weitere Energieeinsparungen die Entwicklung und Realisierung neuer Verfahren notwendig.

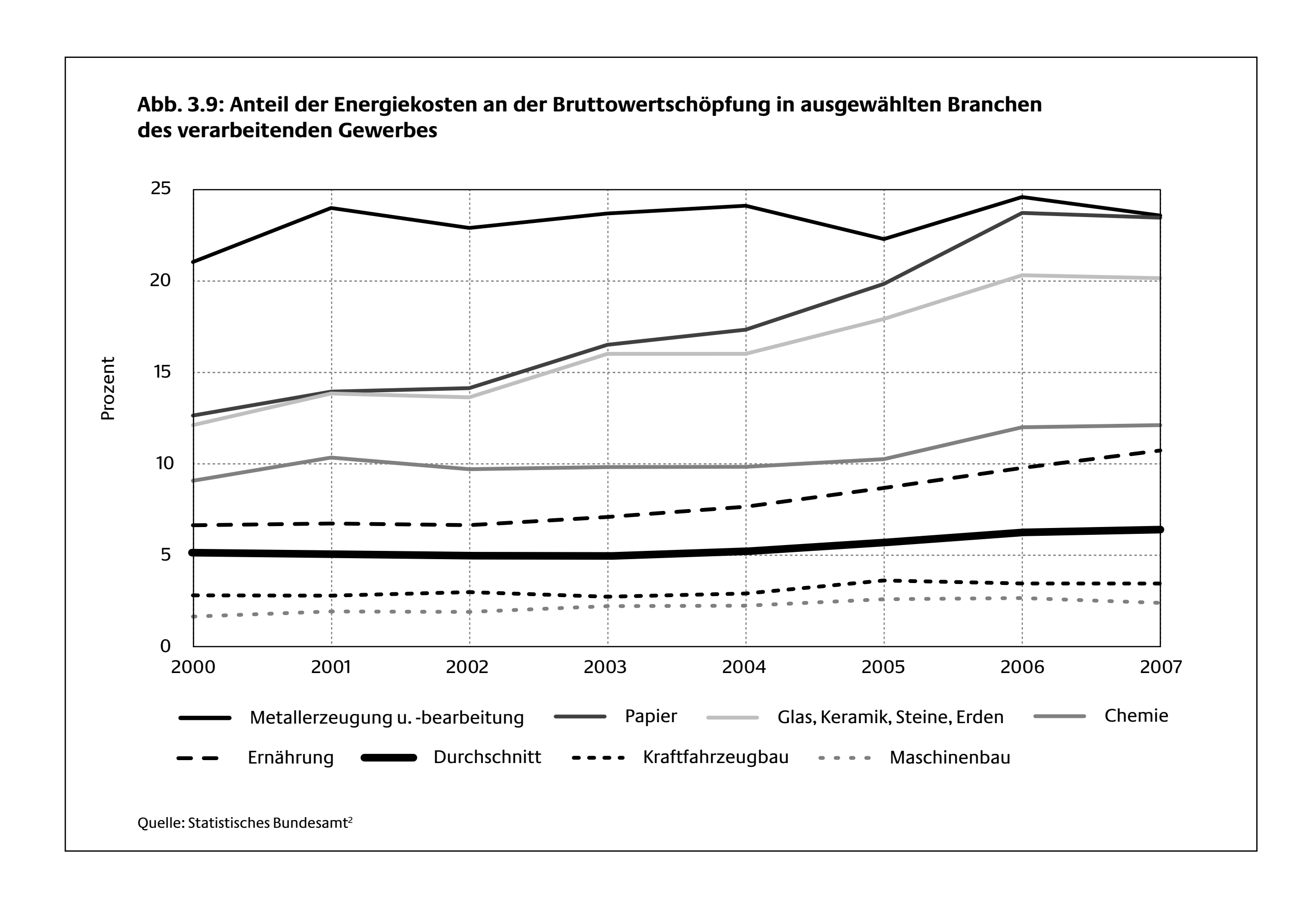
Die Nutzung der Abwärme von thermischen Prozessen ist ein Schlüsselelement zur Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie. Wo eine direkte Nutzung in einem nachfolgenden Prozess mit niedrigerem Temperaturniveau nicht möglich ist, kann die Wärme durch lokale Speicherung, Aufbereitung mittels Wärmepumpen oder Umwandlung in elektrische Energie zu einer alternativen Energiequelle werden. Diese Erschließung von bisher ungenutzter Restenergie in einer „Energiekaskade“ erhöht die Komplexität in Konzeption, Aufbau und Betrieb der Anlagen. Es gehört zu den zentralen Aufgaben der Förderpolitik, bei der Umsetzung der vorgegebenen Energieeinspar- und Klimaschutzziele solche technischen und wirtschaftlichen Risiken zu erkennen und abzufedern.

Dem Energieträger Strom kommt heute in der Industrie und besonders bei Handel und Dienstleistungen eine wesentliche Rolle zu. Mit dem beschleunigten Übergang zu erneuerbaren Energien wird die Bedeutung von Strom weiter zunehmen und damit auch der Bedarf an Ideen zu seinem rationellen Einsatz.

Abb. 3.8: Anteil Strom am Endenergieverbrauch in den Sektoren



Quelle: BMWi nach Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Stand: Juli 2010



Die Vielfalt der energierelevanten Prozesse in IGHD wird durch die Themenbreite des Förderschwerpunkts aufgegriffen. Betrachtet werden Prozesse basierend auf chemischer, thermischer, mechanischer und elektrischer Energie entlang der gesamten Prozesskette. Ergänzend treten Querschnittsthemen ohne spezifischen Bezug zu einer Energieform hinzu.

Der Adressatenkreis des Förderschwerpunkts „Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ ist heterogen zusammengesetzt: Große Betriebe stehen neben KMU, Schwerindustrie neben Verbrauchern mit moderatem Verbrauch, und Forschungseinrichtungen neben Ingenieurbüros. Dies ist schon allein deswegen sinnvoll, weil ähnliche Fragestellungen in verschiedenen Skalierungen wiederkehren, aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und gemeinsam beantwortet werden können. Durch die enge Kooperation von Großindustrie, KMU und Forschung werden darüber hinaus finanziell und organisatorisch Voraussetzungen zur Entwicklung von neuen Ansätzen geschaffen, die anschließend auch praktisch umsetzbar sind – erst dann können die eingesetzten Fördermittel die intendierte Auswirkung auf die Energie- und Klimabilanz entfalten.

Organisatorisch wird die Förderung bevorzugt in Form von anteilfinanzierten Verbundprojekten durchgeführt, in denen geeignete Partner in der Regel sowohl aus Industrie als auch aus der Forschung zusammenarbeiten. Dieses Vorgehen gewährleistet eine hohe inhaltliche Qualität und die weitestmögliche Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse. Möglich ist auch die Förderung von Demonstrations- und Pilotanlagen.

Der Dialog zwischen den zahlreichen Adressaten des Förderschwerpunkts und der Politik wird unterstützt durch Statusseminare und Workshops. Diese finden in loser Folge themenspezifisch statt und bieten damit eine flexible Plattform zum Ideenaustausch und zur Information der Entscheidungsträger in der Politik. Ergänzend fließen Ergebnisse aus der Systemanalyse in die Entscheidungen ein[3].

Der Förderschwerpunkt „Energieeffizienz in der Industrie, im Gewerbe, im Handel und bei Dienstleistungen" leistet durch die Technologieförderung auch wesentliche Beiträge zur weltweiten Positionierung der deutschen Unternehmen, indem der bestehende Technologievorsprung weiter ausgebaut wird. Der in diesem Schwerpunkt besonders hohe KMU-Anteil (etwa 20 % der ausgezahlten Mittel fließen an Unternehmen mit bis zu 250 Mitarbeitern) ist das Ergebnis einer gezielt auf den Mittelstand ausgerichteten Förderpolitik.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Die künftigen Fördermaßnahmen werden sich auf vier Schwerpunkte konzentrieren:

→ **Reduktion des Energieeinsatzes im Prozess** durch Entwicklung und Einsatz neuer Verfahren und Materialien in energieintensiven Industriebranchen,

→ **Optimierung bestehender Prozesse** durch Adaption von Prozessparametern, Substitution von Betriebsstoffen, Einsatz neuer oder verbesserter Komponenten und Reorganisation,

→ **effizienter Umgang mit elektrischer Energie** auf der Verbrauchsseite, aber auch bei der dezentralen Erzeugung,

→ **Querschnittsfragen** zum effizienten Einsatz von Strom und Abwärme sowie prozessübergreifendes Energiemanagement.

Im Folgenden sind weitere Themen für die künftige Förderpolitik zusammengefasst.

Besonders wichtig sind **Maßnahmen in den energieintensiven Branchen**. Hier werden in Abstimmung mit der Grundlagenforschung betrachtet:

→ innovative Entwicklungen in der Thermoprozesstechnik (insbesondere in der Eisen-, Stahl-, NE-Metall-, Keramik-, Zement- und Glasindustrie),

→ energieeffiziente chemische Prozesstechnik (einschließlich der Verarbeitung von Kunststoffen und Gummi), Optimierung von Reaktortechnik und Prozesschemikalien, Prozesskettenverkürzung,

→ energieeffiziente Fertigungstechnik (Werkzeugmaschinen, Ur- und Umformtechnik, verbesserte und verkürzte Verfahren, Oberflächentechnik),

→ verbesserte Prozesstechnik in Nahrungs- und Genussmittel-, Textil- und Papierindustrie,

→ innovative Behandlungstechniken für Reststoffe, Abfall, Wasser und Emissionen.

Bei der Steigerung der **Effizienz des Umgangs mit elektrischer Energie** sind folgende Themen zu nennen:

→ hocheffiziente Elektromotoren,

→ elektrische Anlagen- und Industrieroboter-Technik,

→ Optimierung der Wärme- und Kälteerzeugung mit Strom,

→ effiziente elektrische Haushaltsgeräte,

→ kurzfristige elektrische Speicher für spezielle Industrieanwendungen,

→ neue Anlagen-, Generatoren- und Thermoelektrik-Konzepte zur effizienten dezentralen Stromerzeugung kleiner Leistung (bis ca. 10 MW),

→ neue Technologien und Anwendungen der Hochtemperatur-Supraleitung, z. B. Leiter, Generatoren, Motoren, Strombegrenzer und sonstige Schaltelemente, Induktionsöfen.

Branchenübergreifend stehen folgende Themen im Fokus:

→ neue Technologien zur Nutzung von Abwärme (Hochtemperaturwärmepumpen, Wärmespeicher, ORC),

→ neue Ansätze beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen (z. B. Prozessgas),

- Innovationen bei der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik zur Optimierung von Prozessen,
- neue Verfahren der Zerkleinerung, der Agglomeration, des Trennens, Klassierens und Sortierens,
- Kälte- und Wärmeerzeugung mit Kompression, Adsorption und Absorption,
- Energie- und Demand-Side-Management-Systeme,
- Antriebstechnik und mechanische Kraftübertragung (Motorenkonzepte für stationäre Anwendungen, optimierte Industriemotoren, Getriebetechniken),
- Energieeffizienz durch Materialeffizienz (effiziente Werkstoffnutzung, Kreislaufwirtschaft, Leichtbaustrategien).

Literatur:

1 BMWi (2011): Gesamtausgabe Energiedaten
2 Statistisches Bundesamt, GENESIS-Datenbank, Statistik 42251
3 Wietschel et al. (2010): Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung, Fraunhofer Verlag
4 Wirtschaftsvereinigung Stahl (2010): Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2009/2010, Verlag Stahleisen GmbH

3.1.4 Energiespeicher für stationäre und mobile Anwendungen

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Die sich in Zukunft abzeichnenden Änderungen in der Erzeugungsstruktur für elektrische Energie erfordern mittel- bis langfristig einen steigenden Bedarf an Speicherkapazitäten. Heute bereits wirtschaftlich verfügbar ist die Pumpspeichertechnologie. Alternative Technologien, wie z. B. hocheffiziente Druckluftspeicher, stehen erst am Anfang der Entwicklung.

Elektrochemische Speicher auf Lithiumbasis werden z. Z. als zukunftsweisende Technologieoption für den Einsatz in teil- oder vollelektrisch betriebenen Fahrzeugen eingestuft. Entsprechend den Zielen der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ strebt die Bundesregierung für das Jahr 2020 den Bestand von einer Million Elektrofahrzeugen an. Langfristig wird den elektrochemischen Speichern auch eine Option zur Regelung der Stromnetze eingeräumt. Heute verfügbare elektrochemische Speicher weisen nicht die für beide Einsatzfälle erforderlichen technischen und wirtschaftlichen Bedingungen auf.

Thermische Speicher finden in den Bereichen Energieumwandlung, Energieversorgung und in allen Sektoren des Endverbrauches ihren Einsatz. Sie stellen ein wichtiges Element für die weitere Steigerung der Energieeffizienz dar und leisten einen wesentlichen Beitrag bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen (KWK-Systeme).

Stoffliche Speicher, beispielsweise Wasserstoff, werden durch die zu erwartende Verknappung und damit einhergehende Verteuerung von Primärenergieträgern als Alternative zu herkömmlichen Brenn- und Kraftstoffen zunehmend interessant.

Für alle diese genannten Technologien besteht zur erfolgreichen Umsetzung noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Technologieentwicklung und Förderstruktur

Bis vor einigen Jahren stand die Forschungsförderung für Energiespeicher nicht im Fokus des Energieforschungsprogramms, was u. a. daran lag, dass der Bedarf an Stromspeichern zur Regelung der Netze vergleichsweise gering war und bei elektrochemischen Speichern keine wesentlichen Durchbrüche beobachtet wurden.

Die Situation hat sich in den letzten Jahren drastisch geändert. Der Bedarf an Speichern in den Stromnetzen wird künftig enorm zunehmen und neue Lithium-Ionen-Techniken versprechen aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Energie- und Leistungsdichte den Einsatz in der Elektromobilität.

Energiespeicher umfassen ein breites Technologie- und Anwendungsspektrum und die technologischen Entwicklungen weisen eine hohe Heterogenität auf. Aus diesem Grund werden wesentliche Anteile der Aktivitäten zur Entwicklung von stationären

Energiespeichern im Rahmen einer gemeinsam von BMWi, BMU und BMBF formulierten „Förderinitiative Energiespeicher" durchgeführt. Die Prioritäten und spezifischen Themen sind bereits in der Bekanntmachung zu dieser Maßnahme genannt (siehe Kapitel 2.1). Diese gelten unabhängig von der Laufzeit der gemeinsamen Initiative für das gesamte Energieforschungsprogramm und werden entsprechend den festgelegten Zuständigkeiten den beteiligten Ressorts zugeordnet. Die Fördermaßnahmen des BMWi umfassen die angewandte Forschung, Entwicklung und Demonstration von Systemen ohne direkten Bezug zu den erneuerbaren Energien (siehe hierzu 4.7). Die im Folgenden genannten Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen können nur exemplarisch angeführt werden und konzentrieren sich im Wesentlichen auf die mobilen Anwendungen, die durch die vorgenannte gemeinsame Förderinitiative nicht abgedeckt sind:

Strategisch wichtige Förderbereiche

Elektrische Speicher

Generelle Zielsetzung der Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen bei allen elektrischen Speichersystemen ist die Erhöhung der Leistungs- und Energiedichte sowie die Senkung der Kosten. Bei den elektrochemischen Speichern muss darüber hinaus die Zyklenfestigkeit gesteigert werden.

Bei den Technologien zur Regelung und Stabilisierung der Stromnetze stehen beispielsweise die adiabate Druckluftspeicherung, Schwungradspeicher oder auch supraleitende Speicher (SMES) im Vordergrund der Förderung. Doppelschichtkondensatoren werden entwickelt für Geräte, die einen hohen kurzfristigen Leistungsbedarf bei vergleichsweise geringem Energiebedarf aufweisen.

Elektrochemische Speicher, insbesondere die Lithium-Technologie, werden kurz- bis mittelfristig für den Einsatz in Fahrzeugen entwickelt. Hierbei gilt es, einen Entwicklungsvorsprung von asiatischen Firmen und Forschungseinrichtungen aufzuholen.

Exemplarisch werden folgende Themen für den Förderbereich „Elektromobilität" genannt, die eine hohe Priorität aufweisen:

→ Weiterentwicklung von Batterien,

→ Entwicklung von Batterie-Gesamtsystemen unter Berücksichtigung von kosteneffizienten Fertigungsverfahren,

→ Aufbau und Weiterentwicklung einer adäquaten Infrastruktur zur Beschleunigung von Forschung und Entwicklung.

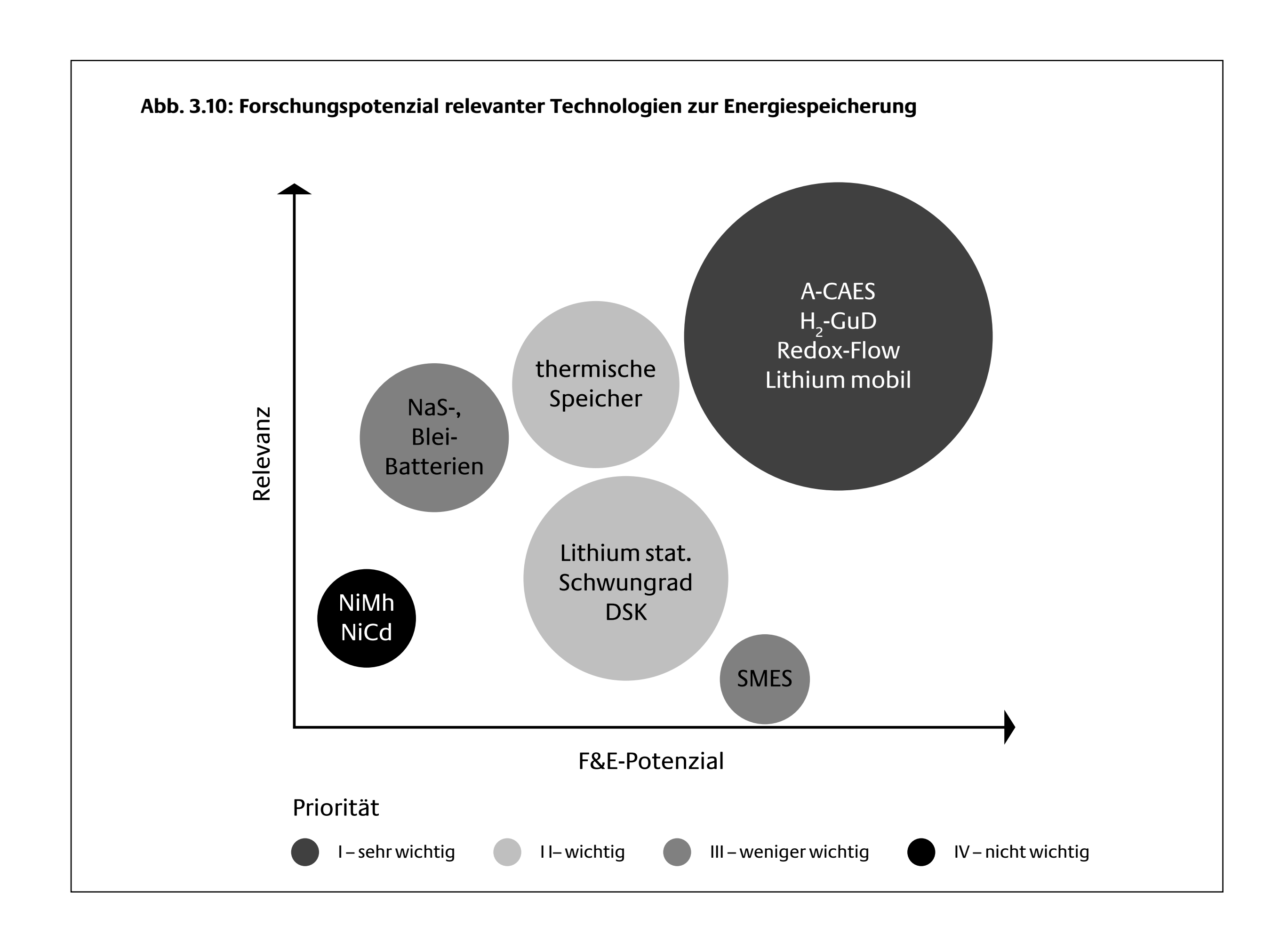
Das Gesamtspektrum an Forschungs- und Entwicklungsthemen zur mobilen Anwendung ergibt sich aus dem Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Aus dem Haushaltstitel des Sondervermögens Energie- und Klimafonds „Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Elektromobilität" unterstützt das BMWi unter dem Stichwort „Energiewirtschaftliche Schlüsselelemente der Elektromobilität" Themen und Projekte, die sich dem Energieforschungsprogramm zuordnen lassen.

Stoffliche Speicher

Leicht speicherbare stoffliche Energieträger werden künftig an Bedeutung gewinnen. Technologien zur Gewinnung von Wasserstoff sind teilweise verfügbar, müssen aber noch effizienter und aufskaliert werden. Für alle Umwandlungstechnologien gilt in gleicher Weise, die Wirkungsgrade der Verfahren zu optimieren. Darüber hinaus besteht eine wesentliche Zielsetzung darin, die Kosten der Umwandlungstechnologien gering zu halten, um der Forderung nach wirtschaftlich günstigen Energiepreisen gerecht zu werden. Ein Schwerpunkt wird dabei die Erprobung der Gesamtkette der Erzeugung, Speicherung und Nutzung von stofflichen Speichern, inklusive Ermittlung der Anforderungen an geologische Speicherformationen, sein.

Thermische Speicher

Thermische Speicher werden künftig insbesondere bei der Reduzierung des Energiebedarfs in Gebäuden zur Erhöhung der Effizienz des gesamten Energiesystems sehr stark an Bedeutung zunehmen. Kann Wärme auf einem hohen Temperaturniveau gespeichert werden, können die Speicher auch in Kraftwerksprozessen oder in industriellen Anwendungen eingesetzt werden. Wesentliche Ziele der



Maßnahmen in diesem Bereich sind die Erhöhung der Speicherdichte und Zyklenfestigkeit einerseits und die Reduzierung der Herstellkosten andererseits. Der Bereich thermische Speicher zeichnet sich durch eine hohe Vielfalt grundsätzlich geeigneter Materialien und durch ein sehr breites Anwendungsspektrum aus. Beispiele für die Fördermaßnahmen sind die Entwicklung von thermischen Speichern in Kraftwerksanlagen zur Wärmespeicherung auf hohem Temperaturniveau oder Zwischenspeicherung von Wärme in industriellen Prozessen. Fragestellungen im Kontext der Gebäudeversorgung werden in den entsprechenden Förderbereichen behandelt (s. Abschnitt 3.1.1 und 3.1.2).

3.1.5 Netze für die Stromversorgung der Zukunft

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Technologien zur Übertragung und Verteilung elektrischer Energie zeichnen sich durch hohe Investitionskosten und sehr lange Amortisationszeiten aus. Die bestehende Netzarchitektur ist gekennzeichnet durch einen gleichgerichteten Leistungsfluss von der Höchstspannungsebene über die Mittelspannungsebene in die Verteilnetzebene. In der Regel handelt es sich bei den Verbrauchern elektrischer Energie um unkontrollierte Lasten.

In den nächsten Jahrzehnten wird sich die Struktur der elektrischen Energieversorgung sehr stark verändern. Der kontinuierliche Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere im Bereich Offshore Wind, führt zu einer weitestgehenden geografischen Entkopplung der Stromerzeugung von den Stromverbrauchern (s. Abb. 3.11).

Andererseits setzt sich durch den stark zunehmenden Einsatz z. B. von Photovoltaik- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen die Tendenz zur Dezentralisierung der Stromerzeugung fort. Darüber hinaus wird sich durch die geografische Lage in Europa der

Transit von elektrischer Energie durch Deutschland in den nächsten Jahren signifikant erhöhen. In den Niederspannungsnetzen zeichnet sich eine signifikante Erhöhung der Anzahl aktiver Elemente ab.

Die Veränderungen in der Erzeugungsstruktur und der zunehmende Stromaustausch in Europa werden entscheidenden Einfluss sowohl auf die Kapazität als auch auf die organisatorische und technologische Ausgestaltung der Stromnetze haben. Bedingt durch die hohe Fluktuation in der Erzeugungsstruktur werden die Anforderungen zur Anpassung von Stromangebot an die Stromnachfrage stark zunehmen. Um künftig den zu erwartenden kritischen Situationen begegnen zu können, bedarf es daher eines beschleunigten Ausbaus von modernen und leistungsfähigen Netzen. Aber auch die Erhöhung der Intelligenz der Netze, d. h. die verstärkte Integration und Nutzung von modernen Informations- und Kommunikationstechnologien zur Optimierung des Gesamtsystems *(„Smart Grids“)*, ist zwingend geboten, um eine optimale Steuerung der Stromerzeuger, Verbraucher (Laststeuerung, d. h. gezielte Beeinflussung des Nachfrageverhaltens in Industrie, Gewerbe, Privathaushalten – *„Demand Side Management“*), der Netze selbst und der künftig in stark zunehmendem Maße erforderlichen Stromspeicher (siehe auch Kapitel 2.2, 3.1.4 und 4.7) gewährleisten zu können. Hierbei ist auch eine zunehmende Elektrifizierung von Fahrzeugen durch die Einführung von Plug-In Hybrids (PHEV) und vollelektrischen Fahrzeugen (EV), die über das Stromnetz aufgeladen werden, zu berücksichtigen.

Im neuen Energieforschungsprogramm wird der Entwicklung von neuen Technologien für die Stromnetze ein Förderschwerpunkt zugewiesen. Folgende übergeordnete Ziele werden verfolgt:

→ Die Beschleunigung von Forschung und Entwicklung ist wichtig, damit bei den zu erwartenden

Abb. 3.11: „Regionale Leistungsbilanz“ – Die zunehmend verbraucherferne Konzentration von konventionellen Kraftwerken und zukünftig insbesondere Windparks, macht den Netzausbau erforderlich.

Leistung in MW

++ Offshore - Windparks

++ konventionelle Kraftwerke

- - KKW Stilllegung ?

-2.000 0 2.000 4.000 6.000

Regionale Leistungsbilanz 2008

Regionale Leistungsbilanz 2030

Quelle: Amprion

hohen und langfristig angelegten Investitionen möglichst viele innovative, technisch ausgereifte Lösungen verfügbar gemacht werden können.

→ Der zunehmende transeuropäische Austausch elektrischer Energie erfordert eine stärkere Harmonisierung von Regelwerken und die Definition und Ausarbeitung von technologischen Standards und Protokollen.

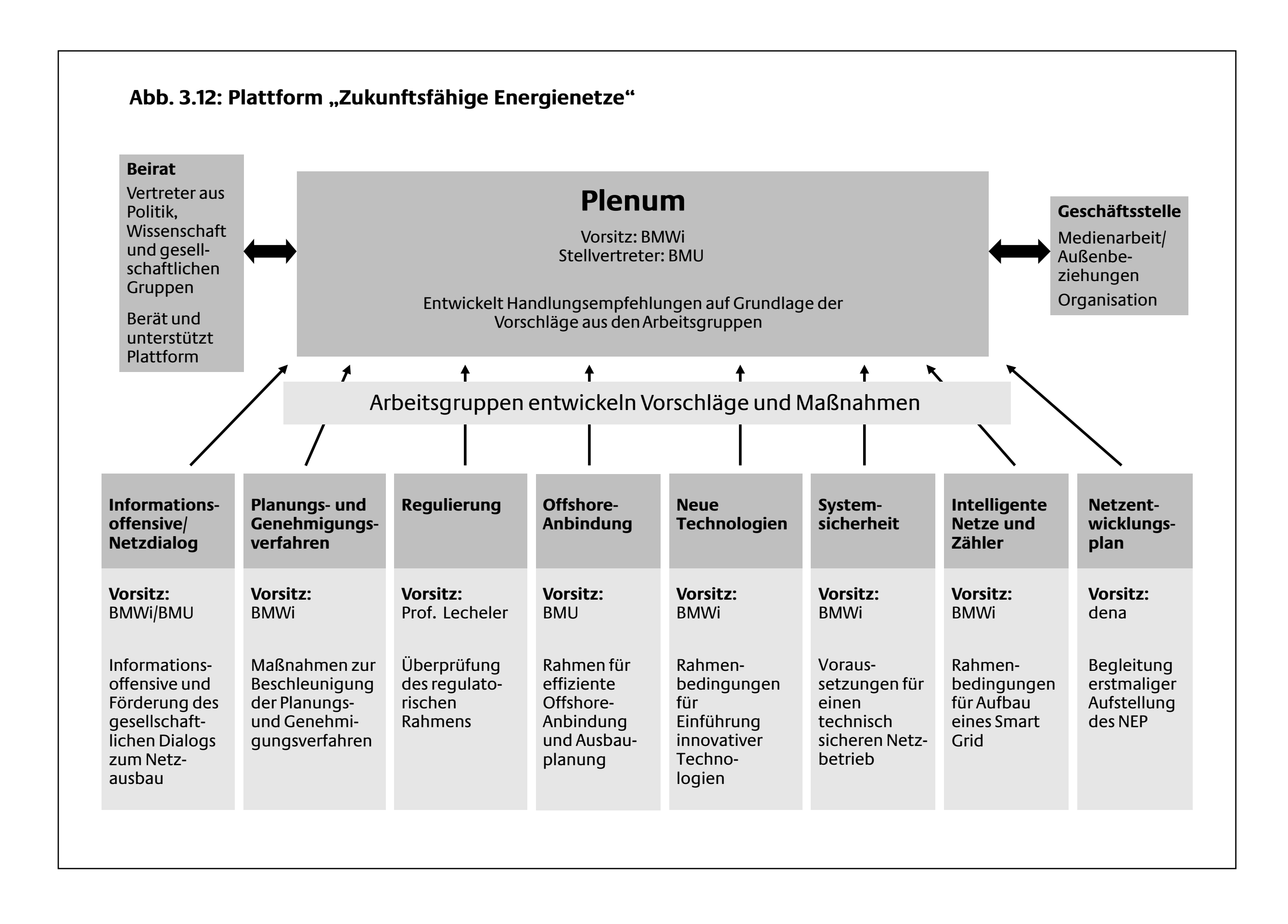
→ In der Übergangsphase zwischen alten und neuen Netzstrukturen muss eine mit heute vergleichbare Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität aufrechterhalten werden.

Technologieentwicklung und Förderstruktur

FuE von neuen Technologien zum Transport und zur Verteilung elektrischer Energie wurden seit 1980 bis vor wenigen Jahren kaum staatlich unterstützt. Dies lag darin begründet, dass die wirtschaftlichen und technologischen Risiken im Vergleich zu den Stromerzeugungstechnologien gering waren und dadurch kein Bundesinteresse für die Förderung zu diesem Zeitpunkt mehr gegeben war. Die Liberalisierung der Energiewirtschaft, die im Wesentlichen erfolgte Trennung von Stromerzeugung und Stromtransport bzw. -verteilung sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien führten zu einer Neubewertung der mit FuE einhergehenden Risiken. Die Sicherung einer zuverlässigen Verteilung von elektrischer Energie ist zwischenzeitig wieder in das besondere Interesse der Bundesregierung gerückt.

Bereits 2007 wurde das Förderprogramm „E-Energy“ von BMWi und BMU gestartet. Diese Fördermaßnahme hat das Ziel, mittels Informations- und Kommunikationstechnologien „intelligente“ Energiesysteme zu schaffen *(„smart grids“)*. Das im Jahr 2010 veröffentlichte Förderkonzept „Netze für die Stromversorgung der Zukunft“ des BMWi umfasste zum ersten Mal das Gesamtsystem Transport, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie. Die Forschungsförderung zur Anpassung der Netze an hohe Anteile

Abb. 3.12: Plattform „Zukunftsfähige Energienetze“



erneuerbarer Energien erfolgt seit 2008 im Förderschwerpunkt „Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“ des BMU (siehe Kapitel 4.7).

Um die drängenden Fragen der künftigen „Netzinfrastruktur“ zu beantworten, hat das BMWi die Plattform „Zukunftsfähige Energienetze“ gegründet (s. Abb. 3.12). Hier erarbeiten die wesentlichen Interessenvertreter – Netzbetreiber, Bundes- und Länderinstitutionen sowie Verbände – gemeinsam Lösungsvorschläge zum Netzausbau und zur Modernisierung der Stromnetze. Die Arbeit der Plattform „Zukunftsfähige Energienetze“ erfolgt in dem regelmäßig tagenden Plenum und den themenspezifischen Arbeitsgruppen. Die Arbeitsgruppe „Neue Technologien“ dieser Plattform beschäftigt sich mit der Koordination von Fördermaßnahmen und der Festlegung von FuE-Prioritäten. Die Forschungsförderung im Bereich „Netze“ umfasst ein breites Themenspektrum, das Grundlagenforschung, die Entwicklung von Komponenten, die Frage der Netzintegration erneuerbarer Energien oder die Modellbildung zur Gesamtsystembetrachtung einschließt. Zur Erfassung der gesamten Wertschöpfungskette ist eine von den beteiligten Ressorts gemeinsam formulierte Förderinitiative „Netze“ vorgesehen (siehe Kapitel 2).

Bestandteil des Energieforschungsprogramms sind darüber hinaus Forschungs- und Entwicklungsthemen zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen, die ihm unter dem Stichwort „Energiewirtschaftliche Schlüsselelemente der Elektromobilität“ zuzuordnen sind. Aus dem Haushaltstitels des BMWi „FuE Elektromobilität“ können entsprechende Projekte zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen gefördert werden.

Die Neuausrichtung von Übertragung, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie liegt insbesondere durch die Verstärkung des länderübergreifenden Stromhandels im besonderen Interesse des europäischen Binnenmarktes und der europäischen Politik. Im Rahmen des *Strategic Energy Technology (SET)*-Plans wird von der Kommission diesem Thema ein besonderes Schwergewicht eingeräumt. Daher ist die Orientierung der hier genannten Ziele für FuE an an den europäischen Zielsetzungen wesentlich höher zu bewerten als in vielen anderen Technologiebereichen. Insbesondere bei der Realisierung von Pilotanwendungen sind grenzüberschreitende Projekte unerlässlich und stellen eine Aufgabenstellung von europäischer Tragweite dar. Die konkrete Kooperation soll im Rahmen der von der EU eingerichteten Industrieinitiative *„Electrical Grid“ (European Electricity Grid Initiative – EEGI)* des SET-Plans durchgeführt werden.

Das *Clean Energy Ministerial* hat im Jahre 2010 das *International Smart Grid Action Network (ISGAN)* gegründet. Die Detailarbeit dieses Netzwerks wird im Rahmen des I*SGAN Implementing Agreement for a Co-Operative Programme on Smart Grids* der IEA durchgeführt. Deutschland ist diesem *Implementing Agreement* beigetreten. Damit steht neben weiteren Aktivitäten der IEA ein Instrument für die internationale Zusammenarbeit zur Verfügung.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Der Förderschwerpunkt „Netze für die Stromversorgung der Zukunft“ umfasst durch die Komplexität des Gesamtsystems ein sehr breites Themenspektrum. Folgende FuE-Felder sind von besonderer Bedeutung:

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ), primärtechnische Komponenten für Transport- und Verteilnetze

Die HGÜ-Technologie wird weltweit bereits vielfach zur Übertragung von großen Leistungen über lange Distanzen eingesetzt. Durch den zu erwartenden stärkeren Stromaustausch wird die HGÜ-Technologie bei den Ausbauszenarien in Europa als viel versprechende Technologieoption eingestuft. FuE ergibt sich durch die im Vergleich zu bisherigen Anwendungsbereichen starke Vermaschung der DC-Netze und die notwendige Kompatibilität mit den existierenden AC-Strukturen.

Neben der HGÜ-Technologie sind weitere Technologie- und Komponentenentwicklungen für die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz des Gesamtsystems wichtig. Zum Umbau der Netze sind Overlaynetze und Netzregler zur Erhöhung der Netzkapazitäten und zur Verbesserung der Stabilität in allen Spannungsebenen von Bedeutung.

Exemplarisch sind folgende dringende Maßnahmen zu nennen:

→ Entwicklung von VPE-Kabeln für Dreh- und Gleichstrom, Garnituren für Spannungen über 500kV, Gleichstromleistungsschalter

→ Systemtechnische Kompatibilität von HGÜ-Punkt-zu-Punkt-Verbindungen

→ Leistungssteigerung von HGÜ mit Spannungsumrichtern

→ Dynamisches Verhalten des Europäischen Verbundnetzes auf der Basis Drehstrom/Gleichstrom-Technologie

→ Entwicklung von Freileitungsmasten mit kleinen elektrischen und magnetischen Feldern

→ Entwicklung und Erprobung von Leiterseilen mit erhöhter Transportkapazität

→ Neue Materialien und Materialanwendungen für primärtechnische Netzkomponenten, Isolierstoffe, Nano- und Kompositmaterialien bis zu supraleitenden Materialien

→ Supraleitende Komponenten wie Kabel, Strombegrenzer usw.

Modellbildung, Design und Überwachung

Zur detaillierten Planung künftiger Netzstrukturen sowie der Weiterentwicklung, dem Betrieb und der Instandhaltung bestehender Netze sind erweiterte Werkzeuge mit hoher Varianzvielfalt und Berücksichtigung der Kompatibilität von Dreh- und Gleichstromnetzen zwingend erforderlich. Durch die zunehmende Volatilität der Erzeugungsstruktur und die damit verbundene stärkere Belastung der Netze nimmt die Entwicklung von Methoden und Verfahren zur Überwachung, Steuerung und Regelung der gesamten Netzstruktur von der Höchstspannungsebene bis zur Niederspannungsverteilung einen zunehmenden Stellenwert ein, um die Zuverlässigkeit sowie die Versorgungssicherheit und -qualität im Vergleich zur heutigen Netzstruktur zu erhalten bzw. zu erhöhen.

Folgende Maßnahmen stehen im Vordergrund:

→ Design eines transeuropäischen Netzes im Jahr 2050

→ Lastflussberechnungen mit einem Overlaynetz mit Ultrahochspannung

→ Untersuchungen zur Systemstabilität zum Schutz der Systemkomponenten insbesondere nach der Integration von neuen Technologien

→ Informationstechnik und -systeme für die stärkere Vernetzung und die mögliche Regelung der Betriebsmittel und der Netzkunden zur Beherrschung der volatilen Netzbelastung

→ Innovative, interagierende Komponenten einbeziehende, dynamische Spannungsregelungskonzepte für Verteilernetze

Demonstrationsmaßnahmen

Da Ausfälle an Einzelkomponenten im Gesamtsystem „Netze“ sich nicht nur auf lokaler und regionaler Ebene, sondern europaweit auswirken können, werden die technologischen Anforderungen an den Ersteinsatz von neuen Technologien sehr hoch gesetzt. Der Demonstration von neuen Komponenten, Betriebsmitteln, Methoden und Verfahren kommt daher eine wesentlich höhere Bedeutung im Vergleich zu anderen Technologiebereichen zu. Die Prüffelder dafür sind deshalb auszubauen. Mögliche Anwendungsfelder für Demonstrationsmaßnahmen könnten sein:

→ Bau einer längeren HGÜ- oder AC/DC-Hybrid-Teststrecke

→ Analyse und Demonstration eines die Netzebenen übergreifenden energetischen Nachrichtennetzes zur Echtzeitübertragung

→ Qualifikation von supraleitenden Komponenten (als Demonstration vor dem regulären Betrieb in Netzen)

Systemanalysen

Systemanalytische Untersuchungen sind insbesondere durch die Langfristigkeit der Investitionen und Betriebszeiten, die hohen Erwartungen bei Sicherheit und Zuverlässigkeit und die Akzeptanz von Neuinvestitionen von zentraler Bedeutung. Exemplarisch sind folgende Themen zu nennen:

- Umgestaltung des Energieversorgungssystems über einen längeren Zeithorizont
- Ökologische Vergleiche: Kabel, Freileitung
- Akzeptanz von neuen Technologien und bei Erweiterungsinvestitionen in Übertragungsnetze

Versorgungsaufgabe der Zukunft

Die sich stark ändernde Versorgungsaufgabe der Zukunft stellt neue Anforderungen sowohl an die in elektrischen Netzen genutzten Betriebsmittel und Komponenten als auch an den Betrieb und die Weiterentwicklung der Netze. Daraus resultierend besteht ein hoher Handlungsdruck an FuE, um diese Bedarfe durch entsprechende neue und neuartige Betriebsmittel und Herangehensweisen zu befriedigen. Beispielhaft können folgende Aspekte identifiziert werden:

- neue Steuerungs- und Regelungskonzepte zur Steigerung der Energieeffizienz und der nachhaltigen Investitionssicherheit im Netz
- intelligente Primär- und Sekundärtechnik (zum Beispiel unter Einbeziehung von Informations- und Kommunikationstechnik)
- neue Konzepte und innovative technische Komponenten zur Netzbetriebsführung, insbesondere unter Berücksichtigung bestehender bzw. erforderlicher Qualitätsstandards
- ganzheitliche Strategien zur Auslegung, Weiterentwicklung, Betrieb und Instandhaltung von Verteilnetzen (zum Beispiel unter Berücksichtigung von Lastmanagementstrategien bzw. der Einbindung einer zunehmenden Anzahl von Elektrofahrzeugen)

3.1.6 Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Die fossilen Energieträger Kohle, Öl und Gas bilden die tragende Säule der Strom- und Energieversorgung in Deutschland und weltweit. Was ihre zukünftige Rolle für die Stromerzeugung angeht, muss zwischen den Zielvorstellungen in Deutschland und den Prognosen zur globalen Entwicklung unterschieden werden.

Nach Angaben der Internationalen Energieagentur (IEA)[8] erreichte die weltweite Stromerzeugung aus Kohle, Öl und Gas 2008 einen Wert von 13.680 TWh und deckte damit 67 % der gesamten Stromerzeugung ab. In der Europäischen Union lag dieser Anteil mit 1.831 TWh bei 55 %. Für das Jahr 2035 prognostiziert die IEA eine Zunahme der weltweiten Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern. Sie würde – unter der Voraussetzung, dass die internationale Staatengemeinschaft ihre bis Mitte 2010 angekündigten Zielvorstellungen in der Energie- und Klimapolitik langfristig umsetzt („*New Policy Scenario*“) – weltweit mit 19.278 TWh einen Anteil von 54 % abdecken. In der Europäischen Union entspräche ihr Beitrag mit 1.348 TWh einem Anteil von 35 %. Sofern die internationalen Maßnahmen nicht umgesetzt werden und eine Fortschreibung des Status quo erfolgt („*Current Policy Scenario*“) würde die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern bis 2035 weltweit stark zunehmen und mit 25.403 TWh einen Anteil von 67 % abdecken. In Europa stiege ihr Beitrag auf 1.886 TWh bei einem Anteil von 47 %. Damit würde die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern bezogen auf 2008 weltweit um 86 % zunehmen.

In Deutschland stellt sich ein anderes Bild dar. 2010 wurden 356 TWh Strom aus fossilen Energieträgern erzeugt. Das entspricht ziemlich genau dem zeitlichen Mittelwert pro Jahr seit der Wiedervereinigung 1990. Der Anteil an der Gesamtstromerzeugung betrug damit 57%. Mit Blick auf das Jahr 2050 wird angestrebt, den Stromverbrauch gegenüber 2008 absolut um 25 % zu reduzieren und den Bruttostromverbrauch zu maximal 20 % aus fossilen Energieträgern zu decken. Dies bedeutet einen erheblichen energiewirtschaftlichen Einschnitt in Deutschland, der sich weltweit gegen die Entwicklungen insbesondere in den

Schwellen- und Entwicklungsländern behaupten muss. Diese unterschiedlichen Tendenzen in Deutschland und weltweit werden die Entwicklung und die Herstellung moderner Kraftwerkstechnologien in den kommenden Jahren beeinflussen. Für Deutschland haben der Kraftwerksanlagenbau und die Komponentenherstellung eine große industriepolitische Bedeutung. Sie bauen auf einer modernen Infrastruktur auf, können von zahlreichen innovativen und zum Teil hochspezialisierten KMU profitieren, und schaffen insgesamt eine Vielzahl qualifizierter Arbeitsplätze in Deutschland. Traditionell ist die Branche primär auf den Export ausgerichtet. So gehen beispielsweise 80 % aller in Deutschland gefertigten Turbomaschinen in den Export. Ihr Weltmarktanteil stieg in den letzten 25 Jahren von rund 15 % auf über 30 % an[1]. Dieser Erfolg ist das Ergebnis einer langfristig angelegten und zielorientierten Forschungs- und Entwicklungsstrategie, die sich auf eine etablierte Forschungsinfrastruktur in den Universitäten, Forschungszentren und der Industrie stützen kann. So konnte beispielsweise der elektrische Wirkungsgrad von Gasturbinen seit Anfang der 1980er Jahre von etwa 30 % auf heute fast 40 % gesteigert werden. Durch die Kopplung von Gas- und Dampfprozess sind inzwischen elektrische Wirkungsgrade von 60 % realisierbar.

Für die zukünftige Entwicklung von modernen Kraftwerkstechnologien in Deutschland erscheinen folgende Überlegungen von Bedeutung:

- → Im Jahr 2020 wird für Deutschland ein Anteil der gesicherten Leistung, die zur Abdeckung der Spitzenlast erforderlich ist, von über 80 % aus Gas-, Kohle- oder Kernkraftwerken prognostiziert[6]. Wegen steigender Volatilitäten in der Stromerzeugung muss in Zukunft der gesamte fossil befeuerte Kraftwerkspark für den Ausgleich der dargebotsabhängigen regenerativen Erzeugung und die Stabilisierung des Netzbetriebes mit eingesetzt werden[7]. Dies stellt völlig neue Anforderungen an fossil befeuerte Kraftwerke hinsichtlich Lastflexibilität und Fahrweisen. Zugleich müssen die Potenziale anderer lastausgleichender Technologien, wie intelligente Netze, Speicher oder die dezentrale Stromerzeugung, berücksichtigt werden.

- → Ein Großteil der deutschen Kraftwerke hat seine technische Lebensdauer erreicht und steht zur Erneuerung an. Jedoch bleiben Altanlagen länger in Betrieb, da Investitionen in moderne, hocheffiziente und emissionsarme Kraftwerke durch ein unsicheres Marktumfeld, lange Genehmigungsverfahren und eine geringe gesellschaftliche Akzeptanz erschwert werden. Der Zubau innovativer, konventioneller Kraftwerke in Deutschland bleibt weiterhin notwendig.

- → Märkte für Kraftwerkstechnologien entwickeln sich zunehmend im Ausland. Entwicklungen in Deutschland werden daher auch für europäische und internationale Märkte getätigt. Darüber hinaus gibt es eine stärkere internationale Kooperation bei Forschung und Entwicklung zu verzeichnen. Das trifft insbesondere auf den Bereich der CO_2-Abscheidung und -Speicherung (*CCS: Carbon Capture and Storage*) zu.

- → In Deutschland existiert eine über Jahrzehnte gewachsene und etablierte Forschungsinfrastruktur, in der Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft zusammenarbeiten. Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus der Energiewirtschaft und dem Anlagenbau beteiligen sich gemeinsam an Forschungsprojekten. Durch die gezielte staatliche Förderung wird hierbei eine entsprechende Hebelwirkung erzielt. Die finanzielle Beteiligung der Wirtschaft setzt Anreize, damit die Verwertung von Ergebnissen zeitnah realisiert werden kann.

Technologieentwicklung und Förderstruktur

Der Förderbereich „Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien“ kann auf bestehende Förderstrukturen und Strategien der Bundesregierung aufbauen. Im Rahmen der FuE-Initiative COORETEC (COORETEC: CO_2-Reduktions-Technologien) des BMWi wurde bereits 2003 eine umfangreiche und langfristig angelegte Entwicklungsstrategie für zukunftsfähige Kraftwerke gemeinsam mit Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft entwickelt[4]. Mit dem „Leuchtturmkonzept COORETEC“[5] wurde 2007 eine Anpassung vorgenommen.

In den kommenden Jahren werden die folgenden strategischen Zielsetzungen verfolgt:

- → **Systemintegration von Kraftwerksprozessen optimieren:** Einerseits erfordern immer umfangreichere Kraftwerksprozesse (Kohletrocknung, CCS, Kopplung mit industriellen Prozessen) Optimierungen. Andererseits stellt die Integration der Kraftwerksprozesse in das Energieversorgungssystem (z. B. Netze, Speicher und dezentrale Stromerzeugung) besondere Anforderungen. Dabei kommt dem Ausgleich des steigenden volatilen Anteils der Stromerzeugung eine herausgehobene Bedeutung zu.

- → **Flexibilität von Kraftwerksprozessen erhöhen:** Zentrale Herausforderungen sind die Verbesserung der Lastflexibilität von Anlagen, Komponenten und Prozessen, hohe Laständerungsgeschwindigkeiten, kurze Anfahrzeiten, eine hohe Anzahl von Lastzyklen bei möglichst geringem Verschleiß, die Bereitstellung von Regelleistung und die Erweiterung der Brennstoffflexibilität.

- → **Effizienz erhöhen:** Im Mittelpunkt stehen die zahlreichen Potenziale zur Wirkungsgradsteigerung von Kraftwerken auf Komponenten- und Prozessebene. Insbesondere die Steigerung von Dampftemperaturen und -drücken und die dazu notwendigen Materialuntersuchungen, Werkstoffqualifizierungen, neue Schweiß- und Fügetechniken und Materialprüfverfahren werden thematisiert.

- → **Emissionen reduzieren:** Im Vordergrund steht die Reduktion von CO_2-Emissionen durch CCS-Technologien bis hin zur möglichen Verwendung des CO_2 beispielsweise in der chemischen Industrie. Ebenfalls wird die Reduzierung weiterer umweltrelevanter Emissionen untersucht.

- → **Neue technologische Optionen erschließen:** Die Untersuchung von Verfahren, die heute noch nicht zu den „Standardentwicklungen“ zählen, jedoch viel versprechende Potenziale aufzeigen, wird verfolgt.

Die besondere Bedeutung der Förderpolitik des Bundes liegt in gemeinsamen Verbundforschungsprojekten von Wirtschaft und Wissenschaft. Bestehende und geplante Pilot- und Demonstrationsvorhaben werden – soweit möglich – in die Entwicklungsstrategie einbezogen und durch entsprechende Begleitforschungen ergänzt. Die Fördermaßnahmen sollen auch europäische Förderaktivitäten berücksichtigen.

Die Aktivitäten der COORETEC-Initiative werden durch einen Beirat mit Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik begleitet. Der Beirat erarbeitet forschungsstrategische Empfehlungen und verfolgt den Fortschritt der Forschungsarbeiten. Neben den nationalen Forschungsprojekten werden auch europäische und internationale Aktivitäten berücksichtigt.

Thematisch gliedert sich die COORETEC-Initiative in vier Arbeitsgruppen (AGs) (Abb. 3.13). In die Arbeitsgruppe 4 werden die Projekte zur CO_2-Speicherung aus dem GEOTECHNOLOGIEN-Programm des BMBF integriert, um einen optimalen Austausch der laufenden Arbeiten zu gewährleisten. Die Arbeitsgruppen dienen als Plattformen, um in Workshops und Statusseminaren über die laufenden Forschungsarbeiten zu informieren und neue Ideen mit potenziellen Partnern zu diskutieren. In der AG 4 finden gemeinsame Statusseminare der durch das BMBF und das BMWi geförderten Projekte statt. Dieses Verfahren hat sich als sehr erfolgreich erwiesen.

Neben den COORETEC-Arbeitsgruppen, deren Fokus auf der Entwicklung und Optimierung der entsprechenden **Prozesse** liegt, gibt es als thematischen Verbund die „AG Turbo“, die sich der **Komponenentenentwicklung** im Bereich der Turbomaschinen widmet. Die „AG Turbo“ als Verbund aus Herstellerfirmen von Turbomaschinen, Universitäten und Forschungseinrichtungen setzt die erfolgreichen Arbeiten der letzten Jahre fort.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Die künftigen Maßnahmen des Förderschwerpunktes „Kraftwerkstechnik und CCS-Technologien“ orientieren sich an Empfehlungen von Experten[2,3] unter Einbeziehung des COORETEC-Beirates. Sie werden sich auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

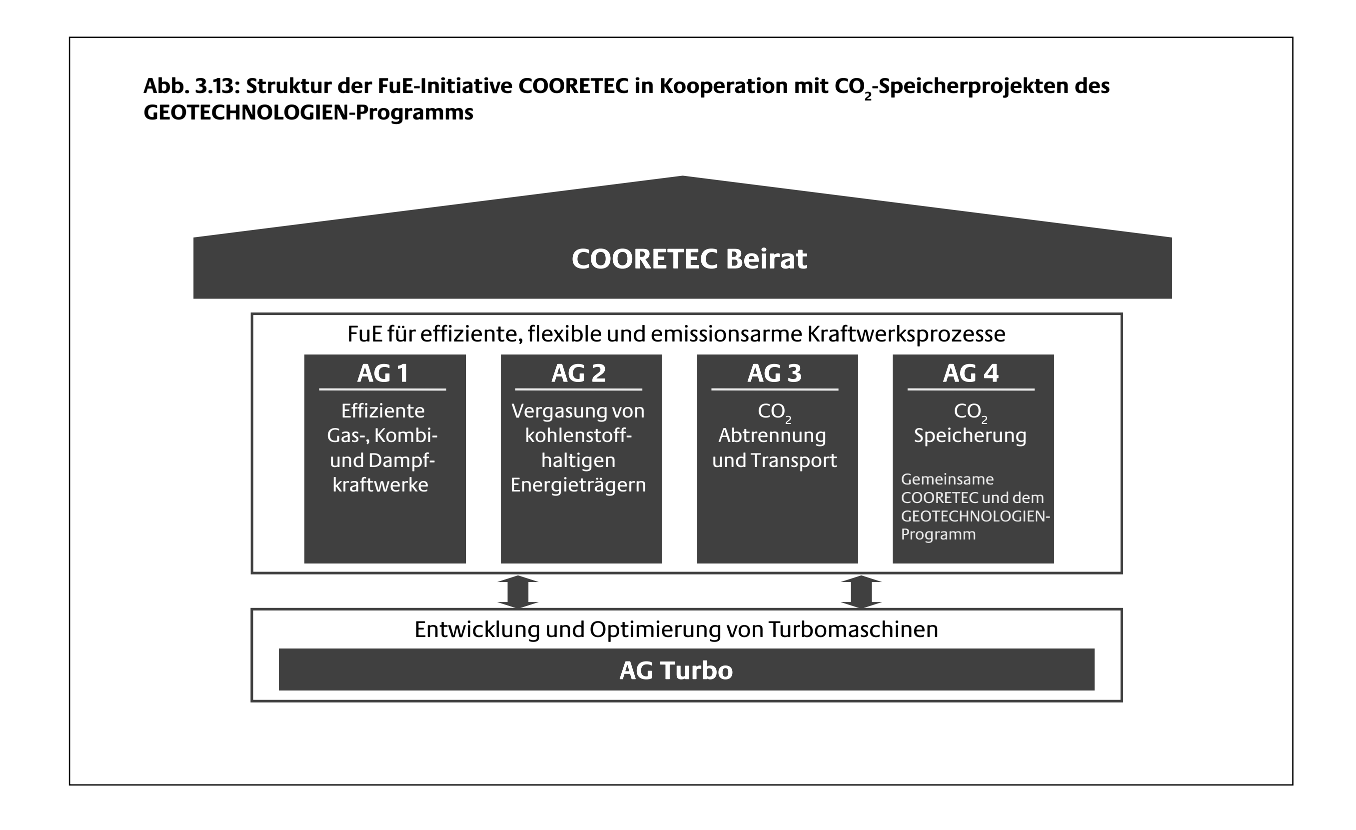
- **Dampfkraftwerke:** Materialforschung und Entwicklung von Füge- und Fertigungstechniken für Dampftemperaturen von 700 °C und Drücken bis 350 bar; Qualifizierung neuer Materialien in Langzeitversuchen, die 30.000 Stunden und mehr umfassen; verbessertes Verständnis von Mikrostruktur und Langzeitstabilität; Modelle zur Optimierung von Lebensdauern und Wartungsstrategien; neue Prüfverfahren für dickwandige Bauteile; brennstoffflexible Verbrennungssysteme.

- **Gasturbinen- und GuD-Kraftwerke:** Effiziente Kühlkonzepte und neuartige Wärmedämmschichten (z. B. nanostrukturierte Wärmedämmschichten) zur Realisierung von Turbineneintrittstemperaturen von über 1.500 °C; Entwicklung und Validierung von Simulationsmodellen zur Optimierung des Zusammenspiels von Kühltechnik und Materialentwicklung; aerothermodynamische Optimierung von Verdichtern und Turbinen unter Einbeziehung modernster numerischer Verfahren und deren experimentelle Validierung; Erweiterung des Brennstoffbandes (insbesondere für wasserstoffreiche Gase mit Blick auf eine Kopplung mit chemischen Speichern).

- **CO_2-Abscheidung:** Technologieoffene Erforschung der verschiedenen CCS-Technologien; „*Post-Combustion*“ und „*Oxyfuel*“ aus heutiger Sicht im Pilot- und Demostrationsmaßstab mit den größten Erfolgsaussichten; Einbeziehung von „*Carbonate Looping*“, „*Chemical Looping*“ oder membranbasierten Verfahren sowie umwelt- und sicherheitsrelevanter Aspekte unterschiedlicher Abscheidetechniken.

- **CO_2-Transport und -Speicherung:** Speicherung in unterschiedlichen geologischen Formationen; Informationssysteme für CO_2-Speicher und Deckgesteine, Sicherheitskonzepte inklusive Langzeitsicherheit, großräumige Überwachung/Monitoring-Verfahren; Risikoanalysen; Simulation zur Ausbreitung des CO_2 im Untergrund; Untersuchungen des Langzeitverhaltens von CO_2 im Untergrund; Auswirkungen von abscheidungsbedingten Zusatzstoffen im CO_2-Strom auf Pipelines und Speicher (z. B. Korrosion, Carbonatbildung).

Abb. 3.13: Struktur der FuE-Initiative COORETEC in Kooperation mit CO_2-Speicherprojekten des GEOTECHNOLOGIEN-Programms



- **Konzeptuntersuchungen zur Regelung und zum Lastmanagement von Kraftwerken:** Dynamische Simulationen eines Energieversorgungssystems mit hohem Anteil erneuerbarer Energien; Auswirkungen auf die Lastflexibilität von Anlagen und Komponenten; Kopplung mit Materialermüdung und Untersuchungen zur Lebensdauer.

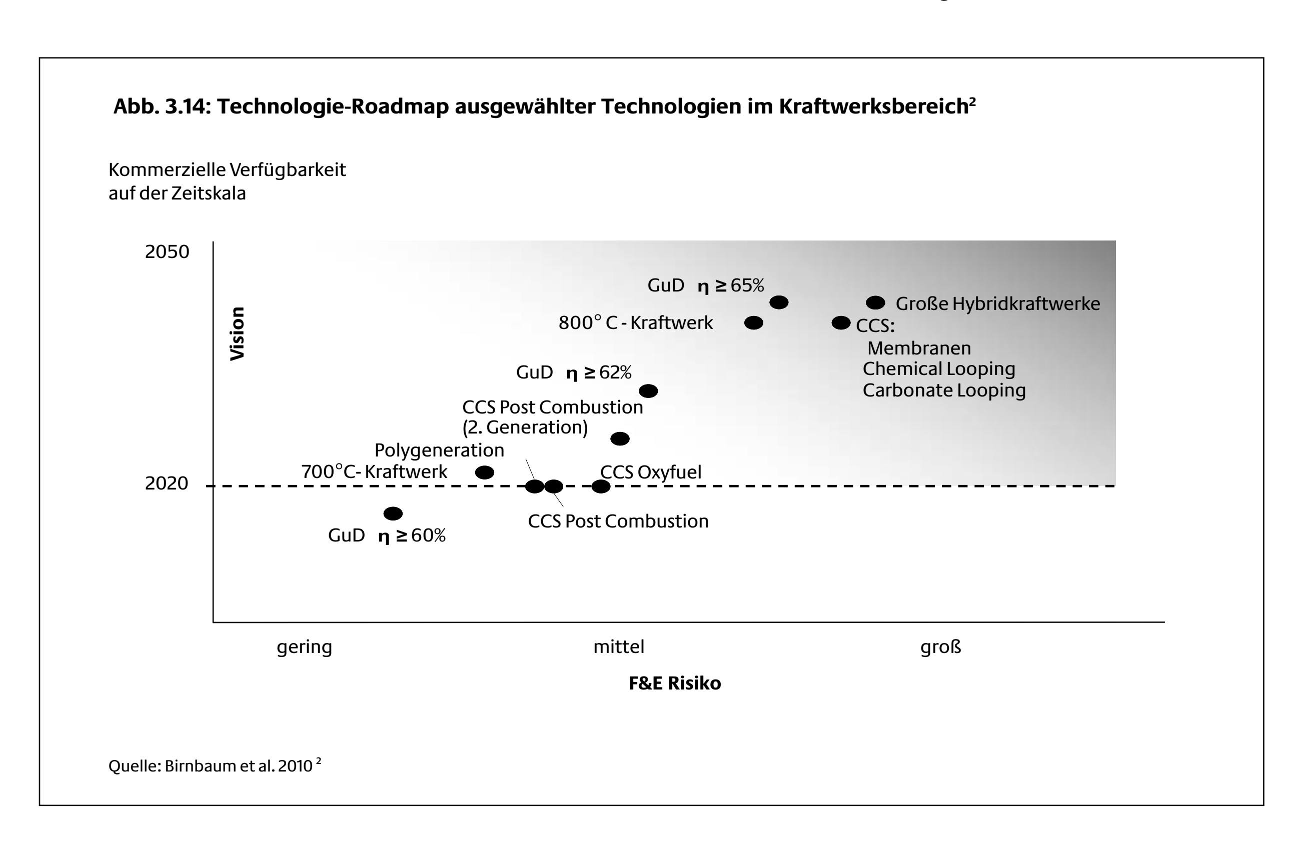
Darüber hinaus lassen sich weitere Themen identifizieren, die zukünftig eine wichtige Rolle spielen[9]:

- neue Synthesegastechnologien (Vergasungstechnologien der 3. Generation),
- kombinierte stoffliche und energetische Nutzung von Kohle,
- neue Leistungselektronik, Anwendungen der Supraleitung, elektrische Komponenten im Kraftwerksbereich,
- Optimierung von CO_2-Kompressoren für CCS-Technologien,
- Untersuchung von Prozessen zur Nutzung von CO_2 (z. B. in der chemischen Industrie).

Literatur:

1 AG Turbo (2010): 12. Statusseminar, Bonn
2 Birnbaum, U. et al. (2010): Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung fossil basierter Kraftwerkstechnologien, Wärmetransport, Brennstoffzellen, Forschungszentrum Jülich, STE Research Report 01/2010
3 Empfehlungen des COORETEC-Beirates zur Förderung von Forschung und Entwicklung CO_2-emissionsarmer Kraftwerkstechnologien und CO_2-Abscheide- und Speichertechnologien, April 2009
4 Forschungs- und Entwicklungskonzept für emissionsarme fossil befeuerte Kraftwerke – Bericht der COORETEC-Arbeitsgruppen, BMWA Dokumentation Nr. 527, Dezember 2003
5 Leuchtturm COORETEC – Der Weg zum zukunftsfähigen Kraftwerk mit fossilen Brennstoffen, BMWi Forschungsbericht 566, 2007
6 Monitoring-Bericht des BMWi zur Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität, BMWi, Januar 2011
7 COORETEC-Beirat (2010): Technologische Anforderungen zur Bereitstellung von Ausgleichsleistung für fluktuierende Stromerzeugungsanlagen durch Lastflexibilität von kohle- und erdgasbefeuerten Kraftwerken
8 Internationale Energieagentur (2010): World Energy Outlook 2010
9 www.kraftwerkforschung.info

Abb. 3.14: Technologie-Roadmap ausgewählter Technologien im Kraftwerksbereich[2]



Quelle: Birnbaum et al. 2010 [2]

3.1.7 Brennstoffzellen und Wasserstoff

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

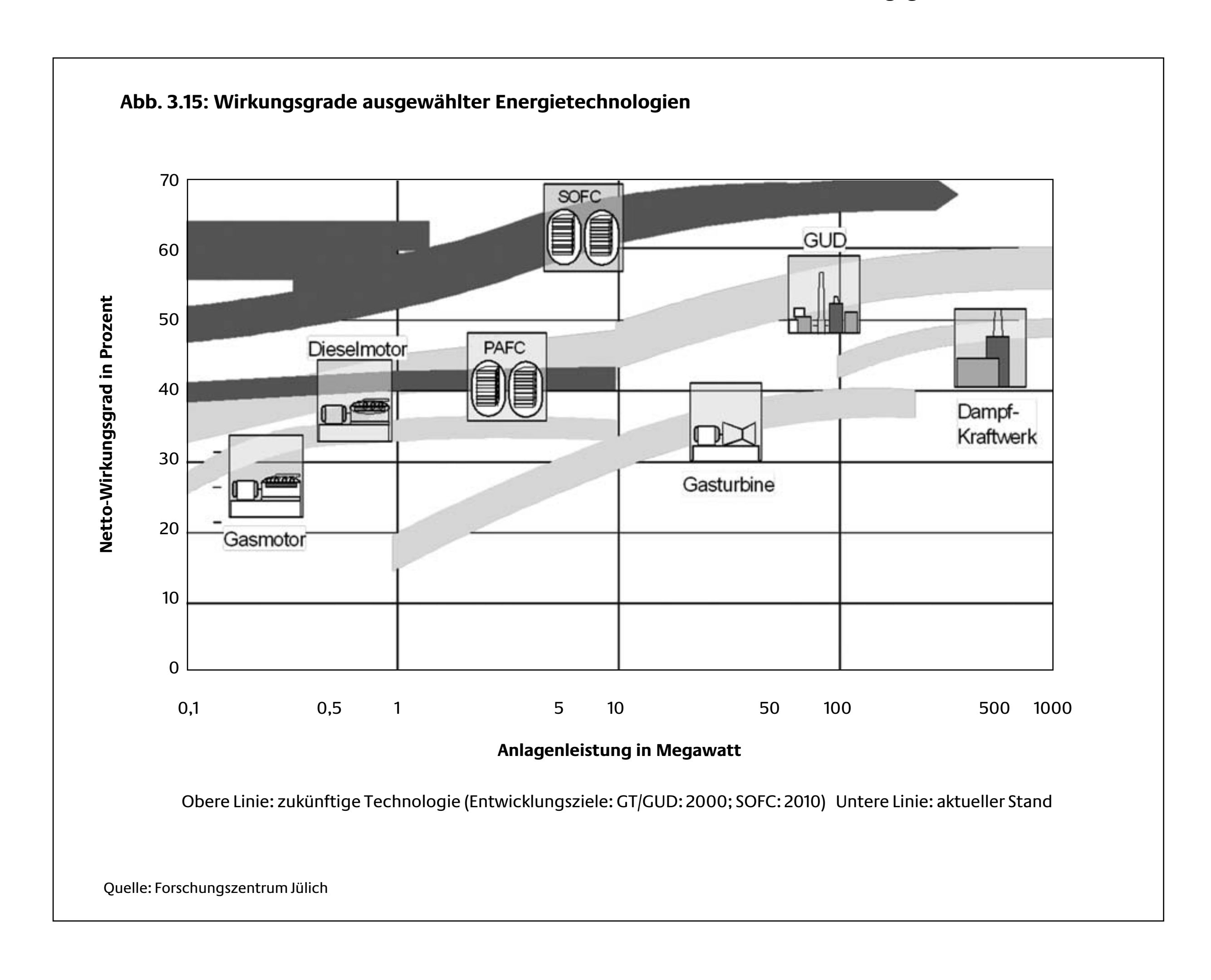
Zur Erreichung der im Energiekonzept der Bundesregierung festgelegten Reduzierung des Primärenergiebedarfs ist neben den Effizienzsteigerungen auf der Energienachfrageseite eine signifikante Erhöhung der Nutzungsgrade auf der Angebotsseite erforderlich.

In der Energieversorgung gilt es, zunehmend die Stromerzeugung mit der Nutzung der in der Regel gleichzeitig anfallenden Wärme durch Kraft-Wärme-Kopplung zu verbinden. Für den Einsatz der Brennstoffzelle im Vergleich zu anderen Technologien spricht hier deren hoher elektrischer Wirkungsgrad bzw. die hohe Stromkennziffer.

In Kraftfahrzeugen werden heute fast ausschließlich verbrennungsmotorische Antriebe mit vergleichsweise geringen Umwandlungswirkungsgraden und einer nahezu 100 % Abhängigkeit vom Erdöl als Energieträger eingesetzt. Die Vorräte an fossilen Energieträgern sind allerdings endlich. Durch die zunehmende Elektrifizierung bzw. die Umstellung auf rein elektrische Antriebe ergibt sich eine neue Alternative zu Erdöl, wobei zudem grundsätzlich Effizienzsteigerungen erreichbar sind.

Die Brennstoffzelle wird sowohl für die dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung als auch als Antriebsaggregat für Kraftfahrzeuge bei mobilen Anwendungen seit vielen Jahren in Deutschland entwickelt. Im Vergleich zu thermischen Prozessen unterliegt die Brennstoffzelle nicht dem Carnot-Wirkungsgrad (Abb. 3.15), sondern zeichnet sich durch einen grundsätzlich höheren Wirkungsgrad aus. Ein besonderer

Abb. 3.15: Wirkungsgrade ausgewählter Energietechnologien



Obere Linie: zukünftige Technologie (Entwicklungsziele: GT/GUD: 2000; SOFC: 2010) Untere Linie: aktueller Stand

Quelle: Forschungszentrum Jülich

Vorteil besteht darin, dass der Wirkungsgrad in Teillast und in kleinen Einheiten auf hohem Niveau bleibt.

Stationäre Brennstoffzellen werden in der Regel zur Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung eingesetzt und sind mittlerweile als Hausenergieanlagen im Leistungsbereich von etwa 1 kWel und in der 300-kWel-Leistungsklasse für Industrieanwendungen im Feldtest. Als Brennstoff wird auf ein breites Spektrum von Primärenergieträgern (Erdgas, Biogas, Klärgas etc.) zurückgegriffen.

Ein elektrischer Antrieb, der über eine im Fahrzeug befindliche Brennstoffzelle mit Strom versorgt wird, weist in Verbindung mit Wasserstoff als Sekundärenergieträger auch unter Berücksichtigung der Verluste bei der Wasserstofferzeugung eine sehr hohe Effizienz aus. Der Brennstoffzellenantrieb bietet darüber hinaus den Vorteil, die hohe Abhängigkeit der Mobilität vom Erdöl zu reduzieren, da der Wasserstoff aus einer Vielzahl von Primärenergieträgern gewonnen werden kann. Wird der Wasserstoff elektrolytisch aus CO_2-reduzierter bzw. CO_2-freier elektrischer Energie, beispielsweise aus fossilen Kraftwerken mit CO_2-Abscheidung, hergestellt, lassen sich neben den lokalen Schadstoffbelastungen die spezifischen Emissionen von klimaschädlichen Gasen entscheidend absenken oder sogar ganz vermeiden. Darüber hinaus stellt Wasserstoff, gelagert zum Beispiel in Kavernen, einen idealen Speicher zur Aufnahme von überschüssigen Stromangeboten in Zeiten geringer Stromnachfrage dar. Mittel- bis langfristig sind die Rückverstromung des gespeicherten Wasserstoffs mit Hilfe von stationären Brennstoffzellen oder Wasserstoffturbinen, die Beimischung zum Erdgas oder die Nutzung als Kraftstoff denkbar.

Durch die in der Vergangenheit geförderten Maßnahmen haben deutsche Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen in den Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien eine internationale Spitzenstellung erreicht. Um diese Position zu erhalten bzw. weiter auszubauen, sind auch künftig intensive Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen notwendig. Die Markterwartungen für die spätere Umsetzung der Technologien sind grundsätzlich sehr hoch, richten sich durch die schrumpfenden Energiemärkte in Deutschland aber vor allem auf die schnell wachsenden Exportmärkte. Daher enthalten die geplanten Fördermaßnahmen neben der energiepolitischen Zielsetzung eine wesentliche industriepolitische Komponente in Bezug auf die Stärkung des exportorientierten Wirtschaftsstandorts Deutschland.

Hierin liegt auch begründet, dass die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie für die speziellen Märkte (unterbrechungsfreie Stromversorgung, Sonderfahrzeuge, Boote, Wohnwagen etc.) Bestandteil der Fördermaßnahmen ist. Die wesentliche Motivation für die Unterstützung dieser Anwendungsfelder besteht darin, durch die Qualifizierung und eine anlaufende serielle Fertigung in diesen Marktsegmenten als Türöffner den Weg in die energiewirtschaftlichen Anwendungen vorzubereiten.

Technologieentwicklung und Förderstruktur

Die Bundesregierung unterstützt durch gezielte Förderung die Weiterentwicklung der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien im Rahmen des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff und Brennstoffzellen“ (NIP). Dieses wurde von den Bundesministerien für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bildung und Forschung (BMBF) sowie Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gemeinsam formuliert und auf den Zeitraum von 2006 bis 2016 fokussiert. Der „Nationale Entwicklungsplan Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologien“ (NEP) beschreibt das Arbeitsprogramm des NIP und stellt den strategischen Rahmen für die Umsetzung bis 2016 dar. Der NEP ist in die fünf nachfolgend genannten Anwendungsbereiche und übergeordnete Querschnittsaufgaben aufgeteilt:

- → Verkehr, inklusive Wasserstoffinfrastruktur (Distribution, Speicherung und Betankung)
- → Wasserstoffproduktion
- → Hausenergieversorgung
- → Industrieanwendungen
- → Spezielle Märkte für Brennstoffzellen
- → Querschnittsaufgaben

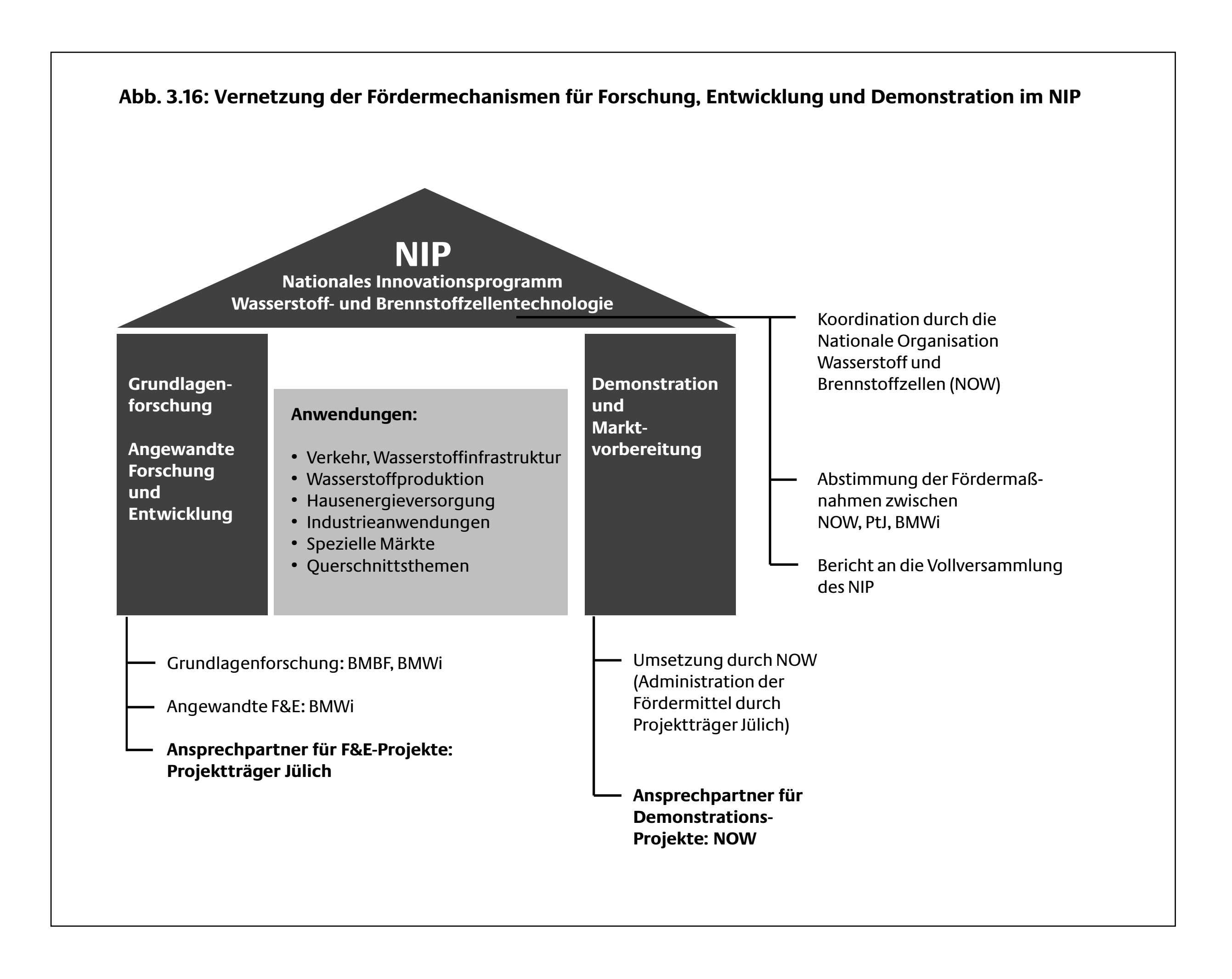
Dem vorliegenden Energieforschungsprogramm zugeordnet sind Grundlagenforschung, angewandte Forschung und technologische Entwicklung für alle genannten Anwendungsbereiche und bei den Querschnittsaufgaben. Die zeitliche Perspektive der Maßnahmen kann über den Fokus des NIP von 2006 bis 2016 hinausgehen. Dadurch werden auch langfristig angelegte und grundlegende Forschungs- und Entwicklungsaufgaben unterstützt.

Ergänzend zu den oben genannten Schwerpunkten können während der Laufzeit des NIP auch Maßnahmen zur Demonstration von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien sowie marktvorbereitende Maßnahmen vom BMVBS gefördert werden (Abb. 3.16).

Die Auswahl und fachliche Betreuung der Demonstrationsmaßnahmen übernimmt für das BMVBS die „Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellen“ (NOW). Zwischen den Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen einerseits und den Demonstrationsmaßnahmen andererseits findet eine enge und intensive Abstimmung statt. Bei der Auswahl und Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten werden die Ergebnisse der Demonstrationsmaßnahmen besonders berücksichtigt.

Die Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsmaßnahmen sind an die Inhalte des *Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)* der Europäischen Union angelehnt. Es findet ein regelmäßiger Austausch in den verschiedenen Gremien des FCH JU wie beispielsweise der *Member State Representative Group* oder dem **Scientific Committee** statt. Neben den etablierten Instrumenten der IEA besteht auf internationaler Ebene die Möglichkeit der Zusammenarbeit im Rahmen der *International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE)*.

Abb. 3.16: Vernetzung der Fördermechanismen für Forschung, Entwicklung und Demonstration im NIP



Strategisch wichtige Förderbereiche

Zu den oben genannten Anwendungen werden im Folgenden konkrete Förderthemen beschrieben. Die Aufzählung ist nicht abschließend, so dass auch neue, zur Zeit der Programmerstellung nicht absehbare Entwicklungsherausforderungen unterstützt werden können:

Verkehr, inklusive Wasserstoffinfrastruktur (Verteilung, Speicherung und Betankung)

Die Automobilindustrie inklusive der Zulieferindustrie zählt zu den bedeutendsten Industriebranchen und trägt mit einem großen Forschungs- und Entwicklungsetat wesentlich zur Innovationsfähigkeit in Deutschland bei. Die hier geplanten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten umfassen die Brennstoffzellen für Fahrzeuge (PKW und Busse), die notwendige Wasserstoffbereitstellung sowie die Wasserstoffspeicherung. Zusätzlich werden Systeme für die Bordstromversorgung *(Auxiliary Power Unit, APU)* z. B. für Lastkraftwagen, Flugzeuge und Schiffe berücksichtigt.

Bei den bisher durchgeführten Entwicklungen konnten erhebliche Verbesserungen, z. B. hinsichtlich Lebensdauer oder Leistung der Brennstoffzelle, erreicht werden. Dies wurde durch die Erprobungsmaßnahmen beispielsweise im Rahmen der *Clean Energy Partnership (CEP)*, einer gemeinsamen Initiative von Automobilherstellern, Technologieproduzenten und Unternehmen der Energiewirtschaft, bereits eindrucksvoll belegt.

Dennoch sind erhebliche zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, insbesondere bei den kritischen Komponenten und Prozessen, sowohl bei den Fahrzeugen als auch in der Infrastruktur erforderlich. Wesentliche Ziele der Maßnahmen sind die Kosten-, Gewichts- und Volumenreduktion, die Erhöhung der Lebensdauer und des Wirkungsgrades sowie die Verbesserung der Betriebsbedingungen.

Folgende Bereiche und Komponenten stehen bei den Fahrzeugen bzw. bei der Wasserstoffinfrastruktur im Vordergrund:

- → Brennstoffzellenstack
- → Peripheriekomponenten und das elektrische Antriebssystem
- → Hybridisierung von Brennstoffzellen und Batteriespeichern
- → Wasserstoffspeicher für Fahrzeuge
- → Gesamtsystemintegration
- → Reformierung von Energieträgern zu wasserstoffreichen Gasen
- → Materialien mit reduzierter Korrosion bzw. Versprödung durch Wasserstoff
- → Tankstellen und Infrastruktur

Wasserstoffproduktion

Wasserstoff als Energieträger spielt bisher eine untergeordnete Rolle, obwohl das Gesamtproduktionsvolumen in Deutschland etwa 10 % des Kraftstoffverbrauchs beträgt. Künftig wird ein steigendes Potenzial aus der Notwendigkeit zur Speicherung von großen Strommengen durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und dem Wasserstoff als Option für zukünftigen Kraftstoff erwartet. Die Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen beinhalten die elektrolytische Herstellung von Wasserstoff, die Gewinnung aus Biomasse, die energetische Verwertung von Reststoffen und die Nutzung von Wasserstoff als Nebenprodukt bei Industrieprozessen. Dazu gehört auch die Speicherung größerer Mengen von Wasserstoff im GWh- bis TWh-Bereich.

Für die künftigen FuE-Aktivitäten werden u. a. folgende konkrete Maßnahmen durchgeführt:

- → Entwicklung der PEM-Elektrolyse bzw. alkalischen Elektrolyse zu Anlagen im MW-Bereich
- → Entwicklung effizienter Verfahren zur Hochtemperaturelektrolyse
- → Weiterentwicklung von großtechnischen Speicherverfahren, insb. Kavernen und Metallhydride

- Methanisierung / Kraftstoffherstellung aus Wasserstoff
- Verteilungs-/Bereitstellungspfade.

Hausenergieversorgung

Die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie in Gewerbebetrieben mittels Brennstoffzellen ermöglicht einerseits hohe Gesamtwirkungsgrade (>85 %) und andererseits CO_2-Einsparungen zwischen 25 % und 35 % im Vergleich zur konventionellen Versorgung mit Strom und Wärme. Die Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen umfassen Systeme im Leistungsbereich von 1 kWel bis 5 kWel, bei denen kurzfristig Erdgas als Brennstoff eingesetzt werden soll. Mittelfristig wird der Einsatz von Biogas und flüssigen Brennstoffen geplant. Erst in einem langfristigen Szenario ist die direkte Nutzung von Wasserstoff denkbar.

Die bisher vorgenommenen Entwicklungen haben zu einem bereits sehr hohen technologischen Stand geführt. Bis 2015 sollen bis zu 800 Anlagen in dem Demonstrationsprojekt CALLUX, einem von Partnern der Energiewirtschaft und der Heizgeräteindustrie initiierten Praxistest, installiert und erprobt werden. Die Ergebnisse dieses Feldtests werden gezielt in die noch zwingend erforderlichen Weiterentwicklungen einfließen, deren Zielsetzungen nach wie vor von der Notwendigkeit zur Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit und der Reduzierung von Kosten und Systemkomplexität bestimmt sind. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten lassen sich in folgende Schlüsselthemen aufteilen:

- Gaserzeugung
- PEM-Brennstoffzellenstack (Nieder- und Hochtemperatur PEM)
- SOFC-Brennstoffzellenstack
- Dezentrale Reformer für Hausenergieversorgungsanlagen
- Verbesserte Komponenten (Bipolarplatten/ Interkonnektoren MEA, Membranen)
- Angepasste Peripheriegeräte (Pumpen, Lüfter, Ventile, Sensoren)
- Gesamtsysteme (PEM- und SOFC-Systementwicklung)

Industrieanwendungen

Bei Brennstoffzellen für Industrieanwendungen handelt es sich in der Regel um Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen im Leistungsbereich von einigen 10 kW bis wenigen MW zur Versorgung von Industrie und Gewerbe. Elektrische Wirkungsgrade von über 50 % bei gleichzeitig hohen Gesamtnutzungsgraden von über 90 % führen zu einer signifikanten Reduktion des Ressourcenverbrauchs und der CO_2-Emissionen gegenüber klassischer KWK. Weltweit sind mehrere hundert große Anlagen ab 100 kW im Einsatz. In Deutschland konnten bereits Lebensdauern von 30.000 h (MCFC) und Wirkungsgrade von bis zu 60 % (SOFC) nachgewiesen werden.

In erster Linie werden für die industrielle Anwendung die MCFC- und die SOFC-Technologie in Deutschland entwickelt. Für diesen Anwendungsbereich engagieren sich in zunehmenden Maße auch Unternehmen aus der PEM-Technologie, sowohl Niedertemperatur- (NTPEM) als auch Hochtemperatur-PEM (HTPEM) Die Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen werden von den Anforderungen zur Kostensenkung, Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer sowie der Reduzierung der Systemkomplexität bestimmt. Das Ziel im Segment der industriellen KWK-Anlagen ist die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber etablierten Technologien.

Neben technologischen Innovationen lassen sich Kostensenkungen durch gezielte Entwicklung der Fertigungstechnologie zur Serienproduktion und durch Skaleneffekte erreichen. Darüber hinaus müssen Anwendungen identifiziert und entwickelt werden, in denen industrielle Brennstoffzellenanlagen einen Zusatznutzen gegenüber anderen KWK-Anlagen aufzeigen können.

Folgende wesentliche FuE-Aktivitäten sind erforderlich:

- → **MCFC-Technologie:** Verbesserung der Zellleistung und Wirkungsgrade, Erhöhung der Lebensdauer, Verringerung der Degradation, Vereinfachung des Gesamtsystems, verbesserte Komponenten (z. B. Inverter), Nutzung von biogenen Brennstoffen

- → **SOFC-Technologie:** Weiterentwicklung der Planare-Stack-Technologie, Skalierung auf Einheiten mit mehreren kW mit der Möglichkeit zur Gruppierung zu größeren Anlagen, Steuerung und Regelung des Komplettsystems

- → Entwicklung von Konzepten und Komponenten für wettbewerbsfähige Fertigungstechnologien für die Massenproduktion

- → **PEM-Technologie (NTPEM und HTPEM):** Hochskalierung von Kleinanlagen auf Leistungen bis in den 100 kW- oder MW-Bereich, Optimierung von Gesamtsystem und Komponenten.

- → Hybridisierung mit Mikrogasturbinen oder Thermoelektrischen Generatoren

Spezielle Märkte für Brennstoffzellen

Als spezielle Märkte werden Brennstoffzellensysteme für viele unterschiedliche Anwendungen betrachtet, die nicht den bereits beschriebenen Bereichen unterzuordnen sind. Hierunter fallen Anlagen für die Telekommunikation, Informationstechnologie und Verkehrstechnik, für die Stromversorgung im Freizeitbereich (*Auxiliary Power Units* für Caravan, Camping), für Lagertechnikfahrzeuge (Gabelstapler, Flurförderzeuge, Hubwagen) und Sonderfahrzeuge bzw. elektrische Leichtfahrzeuge.

Diese Anwendungsbereiche zeichnen sich dadurch aus, dass unter den speziellen Bedingungen z. T. hohe Verkaufserlöse erzielt werden können. Da die Marktchancen hierdurch als sehr hoch einzuschätzen sind, wird den speziellen Märkten eine Brückenfunktion zur Überwindung der ökonomischen Hemmnisse bei den Energieanwendungen im o. g. engeren Sinne zugewiesen. Andererseits ist durch die Vielfalt an Applikationen ein weites Spektrum an Brennstoffzellentechnologien und damit ein breites Feld von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gegeben, die auf folgende wesentliche Themen konzentriert werden:

- → Optimierung der Betriebsführung, des Energiemanagements und der Zuverlässigkeit

- → Entwicklung von Wasserstoff-Versorgungsstationen bzw. Logistik-/Infrastruktursystemen

- → Entwicklung und Anpassung von Elektrolyseuren, Wasserstoffspeichern und peripheren Komponenten

- → Miniaturisierung

Querschnittsaufgaben

Querschnittsaufgaben stellen übergeordnete Themen dar, die nicht den vorgenannten Anwendungen zugeordnet werden können oder deren Ergebnisse einen Nutzen für sämtliche Anwendungen haben können. Folgende wesentliche Forschungs- und Entwicklungsthemen gehören zu den Querschnittsaufgaben:

- → Grundlagenforschung zu Brennstoffzellen- und Systemkomponenten (z. B. Kostensenkung durch Reduktion oder Substitution von Platin, innovative Membranmaterialien bzw. Interkonnektoren, kostengünstige Bipolarplatten, MEA)

- → Entwicklung und Erprobung von Brennstoffzellenkomponenten und -systemen unabhängig vom spezifischen Anwendungsfall

- → Entwicklung von Methoden zur Vorhersage und Verbesserung der Lebensdauer von Brennstoffzellen

- → Entwicklung von Zeitraffertests

- → Entwicklung standardisierter Testverfahren/ Teststände zum Vergleich unterschiedlicher Brennstoffzellensysteme

- → Nutzung von Brennstoffzellen in verteilten Systemen für virtuelle Kraftwerke

3.1.8 Systemanalyse und Informationsverbreitung

Systemanalyse

Eine rationale Energieforschungspolitik benötigt umfangreiches und detailliertes Orientierungswissen. Dabei geht es um die Bereitstellung von Daten, Fakten und Analysen mit dem Ziel,

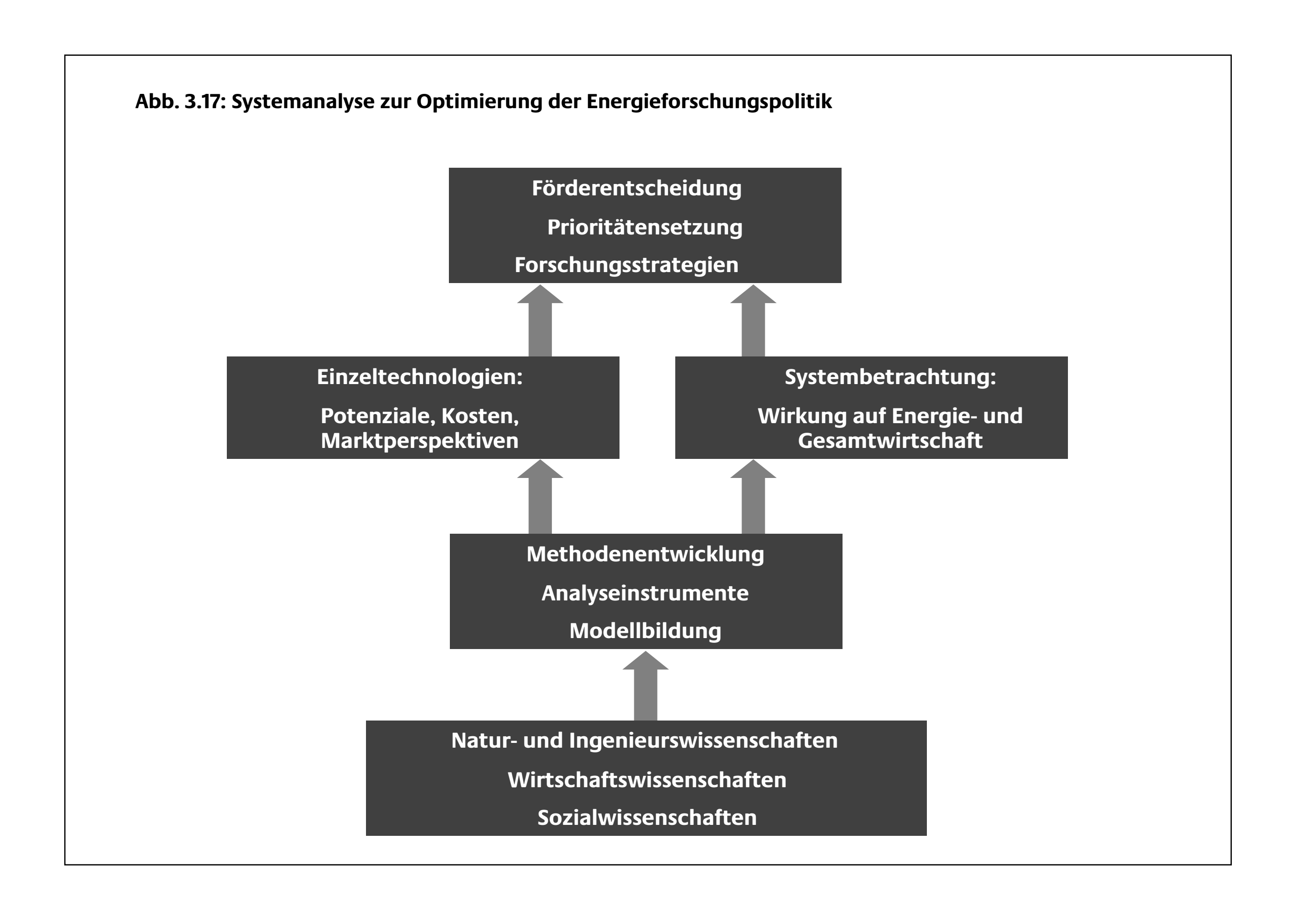
- → Potenziale, Kosten und Marktchancen der unterschiedlichen Energietechnologien zu erfassen,
- → das Zusammenwirken einzelner Technologien oder Technologiesysteme und deren möglichen Beitrag zu einer sicheren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung sowie deren absehbare gesamtwirtschaftlichen Effekte zu bewerten und schließlich
- → auf dieser Basis Forschungsstrategien zu entwerfen, Prioritäten zu begründen und konkrete Förderentscheidungen zu treffen.

Aufgabe der Systemanalyse ist es, dieses Orientierungswissen bereitzustellen.

Die Bundesregierung kann auf dem Gebiet der energiewirtschaftlichen Systemanalyse auf umfangreiche Vorarbeiten zurückgreifen. Wichtig sind vor allem zwei Projekte, die in den letzten Jahren vom BMWi auf den Weg gebracht wurden:

- → Im Rahmen des Projektes „EduaR&D“ (Energie-Daten und Analyse R&D) wurden neue Ansätze zur Festlegung von prioritären Förderbereichen entwickelt[1].
- → Das Projekt „Energietechnologien 2050“ stellte in Form eines umfangreichen Handbuches in Kooperation mit der Wirtschaft Daten und Fakten zum aktuellen Entwicklungsstand und zum künftigen Forschungsbedarf der wesentlichen Energieeffizienztechnologien und der Technologien zur Nutzung der erneuerbaren Energien zusammen[2].

Abb. 3.17: Systemanalyse zur Optimierung der Energieforschungspolitik



Das BMWi wird mit seinem Förderschwerpunkt „En:SYS – Systemanalyse in der Energieforschung“ auf diesen Ergebnissen aufbauen und die systemanalytischen Arbeiten im Bereich der Methodenentwicklung und der Technikbewertung aktualisieren und weiterentwickeln.

Neue Initiativen werden auf den folgenden Feldern vorbereitet und gemeinsam mit den anderen Ressorts umgesetzt:

→ **Stärkere Einbindung sozialwissenschaftlicher Forschungsergebnisse:** Entscheidungen in der Energieversorgung sind in hohem Maß von gesellschaftlicher Relevanz. Der Einsatz neuer Techniken und die Anpassung der Versorgungsstrukturen hat dieser Tatsache in jeder Hinsicht Rechnung zu tragen. In der energietechnischen Projektion betrifft das zum Beispiel die Berücksichtigung demografisch bedingter Veränderungen der Energienachfrage oder der Mobilität. Gesellschaftliche Aspekte im Zusammenhang mit der Akzeptanzforschung sind ein weiteres wichtiges Thema der Energiesystemanalyse. Hier geht es um das Verständnis von Akzeptanzvorgängen. Notwendig sind umfangreiche und wissenschaftlich fundierte Begleituntersuchungen zur Akzeptanz innovativer Energietechniken.

→ **Neue Ansätze der Modellbildung und Szenarioanalyse:** Die Modellentwicklung zur Analyse der komplexen energietechnischen und energiewirtschaftlichen Fragen hat in Deutschland einen hohen Entwicklungsstand. Die Zukunftsaufgaben liegen in den spezifischen Fragen, die sich aus den Vorgaben des Energiekonzepts ergeben. Hierbei geht es insbesondere um den angestrebten rückläufigen Energieeinsatz in Deutschland in einem unverändert auf Energieverbrauchswachstum ausgelegten globalen Umfeld sowie um Lernkostenkurven neuer Technologien. Wichtig ist auch eine stärkere Betrachtung der Zusammenhänge in dem europäischen Energiemarkt und der Interaktion der Entwicklungen in Deutschland und den anderen Mitgliedstaaten. Angestrebt wird der Aufbau eines „Energiemodells Deutschland 2050“, das diesen beiden Aspekten in besonderer Weise Rechnung trägt. Im Bereich der Szenarioanalysen stehen systemische Modellierungen möglicher technischer und wirtschaftlicher Entwicklungen im Mittelpunkt. Dies umfasst sowohl das gesamte Energiesystem als auch Einzelbereiche, wie zum Beispiel einzelne Endverbrauchssektoren (Industrie, Verkehr, Haushalte) oder spezielle Versorgungsaufgaben (Wärme, Kraft, Licht, Information). Mit Hilfe von Szenarien soll der Einsatz und die energietechnische Einbindung innovativer Energieversorgungs- und Energienutzungsstrategien abgebildet werden. Von besonderer Bedeutung sind dabei Analysen, die sich mit technologischen Konkurrenzsituationen befassen oder aber einen Beitrag zur Lösung von Konfliktsituationen infolge gegenläufiger Technologieauswirkungen leisten. Teil dieses Förderschwerpunktes sind auch die Einbindung neuer Entwicklungen der Informationstechnik und neuer mathematischer Verfahren, die einen erweiterten Kenntnisstand über komplexe Zusammenhänge in energietechnischen Einzelfragen ermöglichen.

→ **Untersuchungen zur Anpassung der Energienetze:** Dem Ausbau und der Anpassung der Netze der Zukunft kommt eine zentrale Rolle zu, denn nur mit adäquaten Netzstrukturen kann die Dynamisierung der Energieträgerstruktur mit einem wachsenden Anteil erneuerbarer Energien ohne Einbußen an Qualität und Stabilität umgesetzt werden. Gegenstand der Systemanalyse sind fortschrittliche Strategien des Netzbetriebs und -ausbaus mit dem Ziel, die Effizienz der Energienutzung zu steigern. Betrachtungen dieser Art beziehen sich, je nach Systemgrenze, auf einen Energieträger und das zugehörige Übertragungs- und Verteilungssystem, oder aber auf systemische Analysen der Verknüpfung mehrerer Energieträger. Der Integration von thermischen und elektrischen Energiespeichern kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Im Bereich der Energienachfrage eröffnet zum Beispiel die verbesserte Nutzung von Lastmanagementoptionen Vorteile in Richtung Energieeffizienz. Fortschrittliche Möglichkeiten der Informationstechnik zur Netzsteuerung und -regelung *(smart metering, smart grids)* sind weitere Untersuchungsthemen. In Verbindung mit

den Förderaktivitäten im Bereich der Entwicklung von Komponenten sind Einzeltechnikbewertungen zum Beispiel zu Hochspannungsgleichstromsystemen, zu flexiblen Wechselspannungssystemen (FACTS) und zu Anwendungen von supraleitenden Materialien möglich.

→ **Mehr Transparenz der staatlichen Förderpolitik:** Im Energiekonzept wird dem BMWi die Aufgabe zugewiesen, ein zentrales Informationssystem „Energieforschung und Energietechnologien“ (EnArgus) aufzubauen. Hauptziel des neuen zentralen Informationssystems ist es, eine größere Transparenz der Förderpolitik der Bundesregierung sowie eine gute Belegführung für eine effiziente Mittelverwendung gegenüber dem Parlament zu erreichen. Weitere Ziele sind Bewertungen von Energietechnologien für die künftige Förderpolitik der Bundesregierung auf der Basis ressortspezifischer Bewertungen. Schließlich soll das neue Informationssystem durch geeignete Erweiterungen einen Beitrag zu einem möglichst umfassenden Überblick über die Energieforschungsaktivitäten in Deutschland insgesamt leisten. Für das Informationssystem werden keine neuen Daten erhoben. Es geht darum, bereits vorhandene Informationen in systematischer Weise zusammenzustellen, auszuwerten und kontinuierlich bereitzustellen. Das Informationssystem EnArgus ergänzt die auf diesem Gebiet bestehenden Berichtssysteme, zu denen auch das im europäischen Kontext des SET-Plans stehende *„Strategic Energy Technologies Information System“ (SETIS)* zählt. Auf der Basis des neuen Informationssystems wird die Bundesregierung einen „Bundesbericht Energieforschung“ vorlegen.

Weitere Prioritäten der Forschungsförderung ergeben sich aus der internationalen Zusammenarbeit. Entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 1.6 zur deutschen Beteiligung an dem Forschungsprogramm der Internationalen Energieagentur (IEA) finden auch im Bereich der Systemanalyse weltweite Kooperationen statt. So beteiligt sich Deutschland an den Implementing Agreements *„Energy Technology Systems Analysis Programme“ (ETSAP)* und *„Energy Conservation through Energy Storage“ (ECES)*, deren Ziel es ist, energiepolitische Entscheidungen durch systemanalytische Instrumente und Untersuchungen zu unterstützen. Zu diesem Zweck werden innerhalb des ETSAP-Konsortiums das TIMES-Markal Modell-Instrumentarium und im Rahmen von ECES Speichermodellierungen diverser Teilnehmerländer weiterentwickelt.

Informationsverbreitung (BINE Informationsdienst)

Die Bundesregierung unterstützt die Ergebnisaufbereitung und gezielte Informationsverbreitung im Energiebereich vor allem durch den BINE Informationsdienst (www.bine.info) und dessen verschiedene **Energieforschungsportale**.

Der BINE Informationsdienst vermittelt anhand verschiedener, zielgruppenorientierter Produkte praxisrelevante Ergebnisse der Energieforschung auf den Gebieten Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Aus den Projekten der Energieforschung berichtet der BINE Informationsdienst in seinen **Broschürenreihen** und dem **Newsletter**:

→ Die vierseitigen **BINE-Projektinfos** informieren über die neuesten Ergebnisse aus Forschungs- und Demonstrationsvorhaben.

→ **BINE-Themeninfos** dokumentieren auf 20 Seiten den aktuellen Stand zu Themenschwerpunkten der Energieforschung.

→ Die Reihe **BasisEnergie** erklärt präzise und verständlich etwa 20 grundlegende Themen aus den Bereichen Energieeinsparung und erneuerbare Energien.

→ **BINE-News** berichten am Puls der Forschung zeitnah die Fortschritte und Ergebnisse laufender Forschungsprojekte.

→ Ergänzt werden die Inforeihen durch die **BINE-Fachbuchreihe**.

Als Fachredaktion betreut der BINE Informationsdienst auch die Forschungsportale des BMWi:

→ www.enob.info – Forschung für Energieoptimiertes Bauen

→ www.eneff-stadt.info/www.eneff-waerme.info – Forschung für die energieeffiziente Stadt einschließlich energieeffiziente Wärme- und Kältenetze

→ www.kraftwerkforschung.info – Forschung für neue Kraftwerksgenerationen

→ www.eneff-industrie.info – Forschung zu energieeffizienten Technologien und Verfahren in der Industrie

Auch künftig wird das BMWi die Verbreitung von Forschungsergebnissen unterstützen und dabei die Weiterentwicklung und den Ausbau des Informationsangebotes forcieren. Dabei geht es insbesondere um die Integration neuer Verbreitungswege und Medien sowie die Einbeziehung weiterer Institutionen und Verbände aus den relevanten Branchen, um die Multiplikatoren-Wirkung zu verbessern. Auch die Unterstützung des internationalen Informationstransfers wird ein weiterer Schwerpunkt sein.

Literatur:

1 Forschungszentrum Jülich (2009): Das EduaR&D-Projekt: Energie-Daten und Analysen R&D
2 Wietschel et al. (2010): Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung, Fraunhofer Verlag

3.2 Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Die in Deutschland und in der Europäischen Union betriebenen Kernkraftwerke tragen zu gut einem Viertel zur Versorgung mit elektrischer Energie bei. Dabei liegt ihr Anteil an der Grundlast, begünstigt von ihrer sehr hohen Verfügbarkeit rund um die Uhr, noch wesentlich höher.

Um die ambitionierten Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen und die Verlässlichkeit der Stromversorgung nicht zu gefährden, soll die Kernenergie befristet eingesetzt werden, bis die erneuerbaren Energien deren Rolle technisch und ökonomisch übernehmen können.

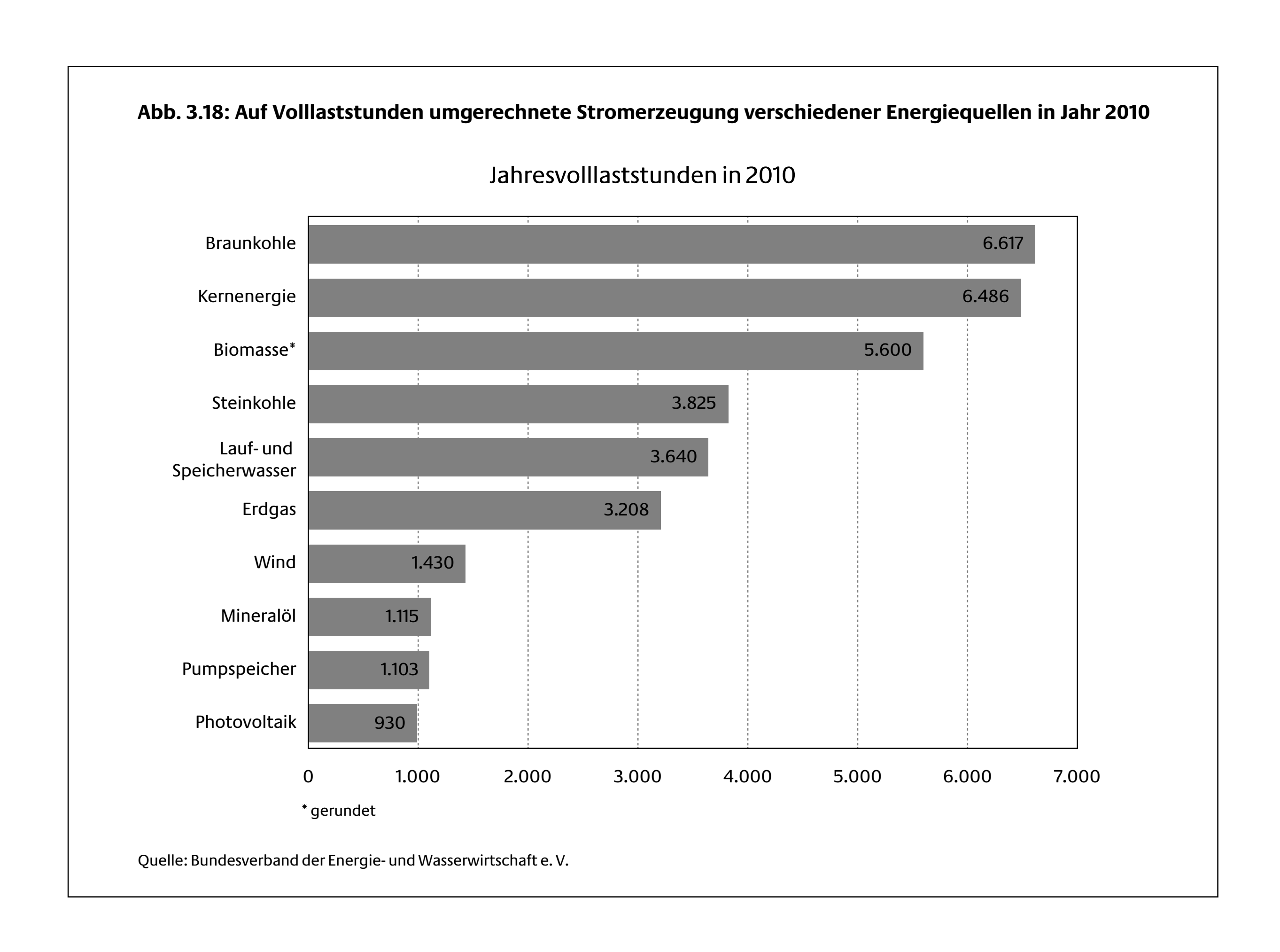
Für Betrieb, Stilllegung und Entsorgung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren, ebenso wie für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, gelten höchste Sicherheitsanforderungen. Maßgeblich ist nicht nur der Stand der Technik, sondern nach § 7d Atomgesetz der „fortschreitende Stand von Wissenschaft und Technik“. Damit weist der Gesetzgeber der nuklearen Sicherheitsforschung eine herausragende Rolle zu. Denn fortschreiten kann der Stand von Wissenschaft und Technik nur durch die Ergebnisse beharrlicher Anstrengungen bei Forschung und Entwicklung.

Das Ziel der staatlichen Reaktorsicherheitsforschung liegt darin, im Sinne der öffentlichen Daseinsvorsorge eine eigene staatliche Kompetenz zu gewährleisten, um Sicherheitskonzepte der Hersteller und Betreiber unabhängig prüfen, bewerten und ggf. weiterentwickeln zu können.

Die Forschung und Entwicklung ist unter maßgeblicher Beteiligung deutscher Wissenschaftler international stark verflochten und wird ständig vorangetrieben. Dabei werden die Forschungsinhalte in zunehmendem Maß davon beeinflusst, dass weltweit die Laufzeiten bestehender Kernkraftwerke verlängert werden und in vielen Ländern, auch in der Nachbarschaft Deutschlands, Kernkraftwerke neuer Generation in Bau oder in Planung sind.

Die Einwirkungsmöglichkeiten Deutschlands auf die Sicherheitsstandards auch neu konzipierter kerntechnischer Anlagen weltweit können längerfristig nur durch gezielte Fortführung und Entwicklung deutscher Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten und Kooperationen mit ausländischen Partnern erhalten bleiben. Die dafür erforderliche kerntechnische Kompetenz in Deutschland kann nur auf der Grundlage einer eigenen Forschung erhalten werden. Auch insofern ist es daher ein Gebot staatlicher Verantwortung und Vorsorge, dass die Bundesregierung eine intensive Forschung auf den Gebieten der nuklearen Sicherheit fördert. Die Förderschwerpunkte „Reaktorsicherheitsforschung“ und „Endlagerforschung“ des BMWi wurden im Jahr 2000 durch eine von der Bundesregierung einberufene Evaluierungskommission „Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung“ neu bewertet. Die Kommission hat vor dem Hintergrund

Abb. 3.18: Auf Volllaststunden umgerechnete Stromerzeugung verschiedener Energiequellen in Jahr 2010



Quelle: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.

beschränkter Finanzmittel und unter Berücksichtigung der Erhaltung forschungspolitischer Funktionstüchtigkeit und der Sicherung des Know-hows Empfehlungen zur Prioritätensetzung und zur Zusammenarbeit der Forschungseinrichtungen erarbeitet[1]. Die Empfehlungen der Evaluierungskommission zur Reaktorsicherheit wurden seither vom Kompetenzverbund Kerntechnik regelmäßig fortgeschrieben[2, 3]. Damit wird gewährleistet, dass die Forschungsarbeiten untereinander abgestimmt und effizient durchgeführt werden und zur Erhaltung und Förderung der deutschen kerntechnischen Sicherheitskompetenz beitragen.

3.2.1 Reaktorsicherheitsforschung

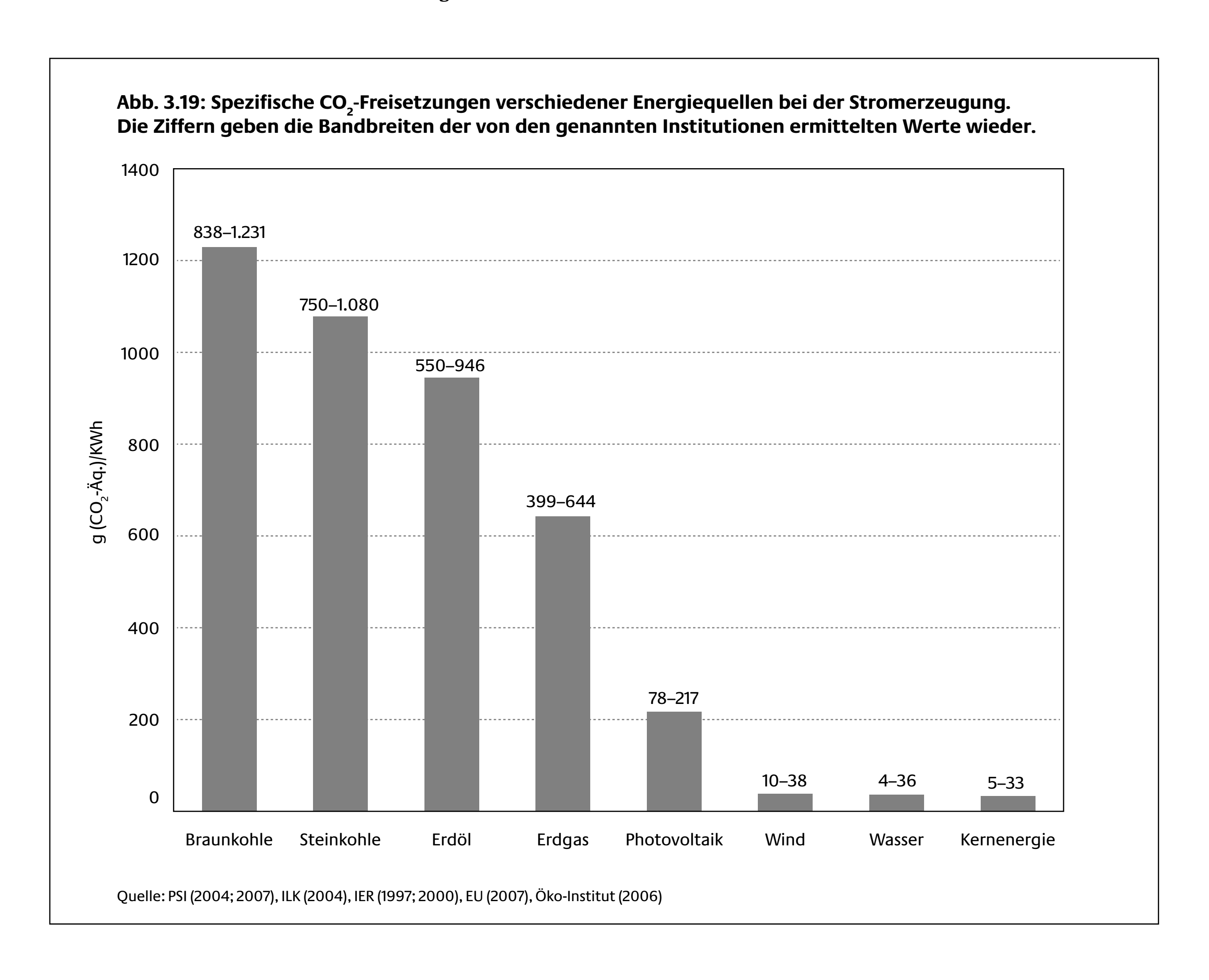
Das Ziel der staatlichen RS-Forschung liegt darin, im Sinne der öffentlichen Daseinsvorsorge eine eigene staatliche Kompetenz zu gewährleisten, um Sicherheitskonzepte der Hersteller und Betreiber unabhängig prüfen, bewerten und ggf. weiterentwickeln zu können. Mit ihren Fördermaßnahmen hat die Bundesregierung in den vergangenen Jahrzehnten dazu beigetragen, dass der Betrieb deutscher Reaktoren anerkanntermaßen zu den weltweit sichersten gehört. Ergebnisse solcher Forschungsarbeiten haben vielfach Anstöße für eine weitere Verbesserung der Sicherheitstechnik und -kultur gegeben. Für ihren Betrieb müssen vorausschauend die wissenschaftlichen Grundlagen für die Sicherheitsbewertung der Anlagen entsprechend dem fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik weiter vertieft werden.

Im Mittelpunkt der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung stehen weiterhin FuE-Arbeiten zur Sicherheit der in Deutschland betriebenen Reaktoren; daneben stehen Untersuchungen zur Sicherheit der in Nachbarländern geplanten neuen Kernkraftwerke sowie zum sicherheitstechnischen Potenzial innovativer Reaktor- bzw. Entsorgungskonzepte.

Auch die künftigen Arbeiten müssen alle sicherheitsrelevanten Fragestellungen des Betriebs, der Stilllegung und der Entsorgung von Kernreaktoren beinhalten. Dazu gehören insbesondere:

- → Alterung von Komponenten und Werkstoffen sowie Grundlagen für effektives Alterungsmanagement,
- → Realistische Beschreibung der Abläufe im Reaktorkern und in den Kühlkreisläufen bei Stör- und Unfällen,
- → Einsatz weiterentwickelter nuklearer Brennstoffe mit höherer Anreicherung, längeren Standzeiten und erhöhtem Abbrand,
- → Optimierte Beladestrategien zur Schonung des Reaktordruckbehälters und Lastfolgebetrieb,
- → Integrität des Sicherheitsbehälters als letzte Barriere gegen den Austritt radioaktiver Stoffe in die Umgebung,
- → Sicherheitsfragen bezüglich des Einsatzes moderner (digitaler) Sicherheitsleit- und Wartentechnik,
- → Einfluss organisatorischer und personenbezogener Faktoren auf die Sicherheit von kerntechnischen Anlagen,
- → Probabilistische Methoden zur Verbesserung der Werkzeuge für die Identifizierung relativer Schwachstellen in Anlagenauslegung und Prozessführung; Verringerung der bestehenden Bewertungsunsicherheiten.

Abb. 3.19: Spezifische CO_2-Freisetzungen verschiedener Energiequellen bei der Stromerzeugung. Die Ziffern geben die Bandbreiten der von den genannten Institutionen ermittelten Werte wieder.



Quelle: PSI (2004; 2007), ILK (2004), IER (1997; 2000), EU (2007), Öko-Institut (2006)

Insbesondere den Themen Alterung und Alterungsmanagement, nuklearer Kern und Brennstoffe, Werkstoffe sowie Digitalisierung der Leittechnik wird angesichts der in vielen Ländern beschlossenen oder geplanten Verlängerung der Laufzeiten international verstärkte Beachtung geschenkt.

Weltweit, auch in Deutschlands unmittelbarer Nachbarschaft, werden in den kommenden Jahren neue Kernkraftwerke errichtet werden. Mit ihnen werden in zunehmendem Maß sicherheitstechnisch weiterentwickelte (Gen III) und innovative Reaktorkonzepte (Gen IV) verwirklicht werden, die sich u. a. durch passive, d. h. selbsttätig wirkende Sicherheitseinrichtungen auszeichnen. Es liegt im Interesse Deutschlands, sich insbesondere auch durch Beteiligung an der internationalen Zusammenarbeit in der Forschung die Fähigkeit zu bewahren, solche und andere neuartige Sicherheitsmerkmale beurteilen und ggf. befördern zu können. Nur dadurch wird Deutschland in die Lage versetzt, seine legitimen Interessen hinsichtlich Sicherheitsstandards und sicherheitstechnischer Konzeption neuer Anlagen in internationalen Gremien und gegenüber dem Ausland wirksam zu vertreten. Gleichzeitig könnten Erkenntnisse auch im Hinblick auf in Deutschland betriebene Anlagen nutzbar sein.

3.2.2 Endlagerforschung

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen weist entscheidende Vorteile im Vergleich zu anderen Entsorgungsoptionen auf. Sie trägt dem Prinzip des Konzentrierens und Isolierens der Abfälle Rechnung und ihre Realisierbarkeit ist unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten national und international nachgewiesen. Eine langzeitsichere Lösung der Entsorgungsfrage und somit die Realisierung der Endlagerung wird als eine Voraussetzung für den Betrieb von Kernkraftwerken angesehen. Obwohl die Realisierung der Entsorgung bzw. Endlagerung in vielen Ländern und auch in Deutschland schon heute möglich wäre, verhindern Kontroversen in Politik und Öffentlichkeit eine zügige Umsetzung. Als Gründe für eine ablehnende Haltung werden u. a. fehlendes Vertrauen in die Zuverlässigkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse und unzureichende Einbindung der Öffentlichkeit in Entscheidungsfindungsprozesse genannt. Da ohne einen gesellschaftlichen Konsens ein Endlager für hochaktive Abfälle nicht realisierbar erscheint, sind auch in dieser Hinsicht intensivierte Anstrengungen von Wissenschaft und Technik erforderlich. Der langfristige Schutz von Mensch und Umwelt als Hauptziel der Endlagerung erfordert vor dem beschriebenen Hintergrund weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, um Verbesserungen zu erarbeiten, den erreichten Kenntnisstand weiter abzusichern, zu ergänzen und zu vertiefen.

Als zukünftige strategische Forschungsziele, die von deutschen FuE-Institutionen auch im Rahmen der europäischen Technologieplattform IGD-TP bearbeitet werden sollen, werden angesehen:

- → Fortschreibung der Instrumente und Methodik des Safety Case,
- → vertiefte Untersuchungen zum Systemverhalten und Entwicklung oder Verbesserung der Systembeschreibung,
- → vertiefte Untersuchungen zur technischen Machbarkeit und zum Langzeitverhalten von Endlagerkomponenten,
- → Maßnahmen zur Gewährleistung der Betriebssicherheit und zum Monitoring des Endlagersystems und seines Umfelds,
- → Governance und Einbindung von interessierter Öffentlichkeit und Politik,
- → Beteiligung an internationalen Aktivitäten (Komponentenentwicklung) zur Verminderung oder Vermeidung radioaktiver Abfälle mittels Partitionierung und Transmutation (P&T),
- → Weiterentwicklung der Kernmaterialüberwachung und Anpassung an die Bedingungen der direkten Endlagerung.

3.2.3 Kompetenzerhalt und internationale Zusammenarbeit

In der Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung werden modernste analytische und experimentelle Verfahren entwickelt und angewendet. Die

Ergebnisse stehen allen mit Fragen der nuklearen Sicherheit befassten Institutionen zur Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik zur Verfügung. Mit der Gründung des „Kompetenzverbundes Kerntechnik“ im Jahre 2000 wurde sichergestellt, dass die deutschen Forschungseinrichtungen im Bereich Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung effizient und zielgerichtet zusammenarbeiten.

Die Effektivität der deutschen Forschung wird weiter erhöht, indem intensiv die Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit und des wissenschaftlichen Austauschs genutzt werden. So werden deutsche Forschungsstellen ausdrücklich darin unterstützt, sich an Ausschreibungen der Europäischen Union (Euratom) zu beteiligen und sich in Konsortien einzubringen, in denen wechselseitige Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse, eine die Projekte überdauernde Zusammenarbeit sowie schließlich eine führende Rolle Europas in Fragen der kerntechnischen Sicherheit angestrebt werden. Dies gilt insbesondere auch für die intensive Zusammenarbeit zur Erhöhung der Sicherheit von Kernkraftwerken russischer Bauart, zunehmend aber auch von fortentwickelten und neuen Reaktorkonzepten.

Der Gefahr eines gravierenden Mangels an qualifiziertem Nachwuchs in der Kerntechnik und eines damit einhergehenden einschneidenden Know-how- und Kompetenzverlustes bei deutschen Behörden, Gutachtern und in Forschungseinrichtungen muss entschieden entgegengewirkt werden. Daher wird die Initiative „Kompetenzerhalt Kerntechnik“ (KEK) des BMWi fortgesetzt. Mit ihr wird jungen diplomierten Ingenieuren und Naturwissenschaftlern Gelegenheit gegeben, sich durch Mitarbeit in anspruchsvollen Vorhaben der projektgeförderten Reaktorsicherheitsforschung weiter zu qualifizieren und sich an deren aktuelle Fragestellungen heranführen zu lassen. Dabei zeigt sich, dass exzellenter Nachwuchs nur durch Mitarbeit an innovativen Themen zu begeistern ist.

Durch intensive Mitwirkung deutscher Fachleute in internationalen Institutionen wie der internationalen Atom-Energie-Organisation (IAEO), der Nuklear-Energie-Agentur (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) sowie der Europäischen Union (Euratom) nimmt Deutschland auf die internationalen Sicherheitsdiskussionen zur Kerntechnik als kompetenter Partner gestaltenden Einfluss.

In Forschungsprojekten der OECD-NEA wird das Interesse vieler Länder an der Lösung sicherheitstechnischer Fragestellungen durch eine kostenteilige Nutzung international verfügbarer Versuchsstände gebündelt. Experten aus verschiedenen Ländern diskutieren gemeinsam bis in technische Details die Planung der Projekte, beeinflussen zielgerichtet deren Durchführung und interpretieren die Ergebnisse in ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung. Eine Reihe europäischer und überseeischer Staaten, die bislang über keine eigenen Kernenergieprogramme verfügen, beabsichtigen, fossile Energiequellen zukünftig durch die Umwelt weit weniger belastende Kernenergie zu ersetzen. Es liegt im wohlverstandenen deutschen Sicherheitsinteresse, auch diese Länder durch Zusammenarbeit an den reichhaltigen Erfahrungen und dem hohen Kenntnisstand deutscher Forschungseinrichtungen zur kerntechnischen Sicherheit teilhaben zu lassen.

Literatur:

1 Bericht der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) berufenen Arbeitsgruppe (Evaluierungskommission) (2000): Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung in Deutschland
2 Kompetenzverbund Kerntechnik (2003): Themen der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung in Deutschland 2002 – 2006, Reaktorsicherheitsforschung
3 Kompetenzverbund Kerntechnik (2007): Themen der nuklearen Sicherheits- und Endlagerforschung in Deutschland 2007 – 2011, Reaktorsicherheitsforschung

3.3 Institutionelle Energieforschung der Helmholtz-Gemeinschaft

Aufgaben der institutionellen Förderung

Die Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), Deutschlands größter Wissenschaftsorganisation, widmen sich in besonderer Weise den großen Fragen der Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft, um die Lebensgrundlagen der Menschen langfristig zu sichern. Der Forschungsbereich „Energie“, einer von insgesamt sechs Forschungsbereichen, nimmt dabei eine

Schlüsselstellung ein. Die HGF leistet mit ihren Empfehlungen einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung[2].

Die Zusammenarbeit von Großforschungszentren innerhalb der HGF gestattet es, kritische Massen für langfristig orientierte Forschungsthemen zu generieren und Synergien nutzbar zu machen. Dies wird gewährleistet durch gemeinsame Forschungsprogramme – die sogenannte Programmorientierte Förderung (POF) – und durch eine längerfristig angelegte institutionelle Förderung der Forschungszentren. Die Helmholtzzentren werden zu 90 % durch den Bund und zu 10 % durch das jeweilige Bundesland gefördert. Die Bundesfinanzierung der Zentren erfolgt durch das BMBF – mit Ausnahme des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, das in der Zuständigkeit des BMWi liegt. Das für die zweite Periode der Programmorientierten Förderung (POF II) mit einer Laufzeit von 2010 bis 2014 festgeschriebene Forschungsprogramm und die Fördermittel orientieren sich an den forschungspolitischen Vorgaben der Bundesregierung. Sie haben weiterhin Bestand, werden jedoch mit Blick auf die dritte Programmperiode (POF III) einer Evaluierung unterzogen und durch das BMWi in Abstimmung mit den anderen zuständigen Ressorts weiterentwickelt.

Neben der langfristig angelegten institutionellen Förderung gibt es flexible Instrumente, um auch kurzfristig wichtige Forschungsthemen aufzunehmen. Dazu zählen sogenannte Portfoliothemen, der Impuls- und Vernetzungsfonds der HGF und die Einwerbung von Drittmitteln im Rahmen der Projektförderung.

Im Forschungsbereich „Energie“ arbeiten derzeit acht Forschungszentren mit fast 4000 Beschäftigten, davon über 1.000 Wissenschaftler, in fünf gemeinsamen Forschungsprogrammen zusammen. Durch ihre internationale Spitzenstellung in der Forschung ist die HGF in besonderer Weise der Ausbildung junger Nachwuchswissenschaftler verpflichtet. 2009 wurden im Forschungsbereich „Energie“ 424 Doktoranden betreut. Die Zusammenarbeit von Forschungszentren mit universitären Einrichtungen erweist sich bei der Ausbildung als besonders förderlich.

Forschungspolitische Vorgaben der Bundesregierung

Die aktuellen forschungspolitischen Vorgaben der Bundesregierung für den Forschungsbereich „Energie“ dienen als Leitlinie für die Ausarbeitung der Forschungsprogramme in der zweiten Periode der Programmorientierten Förderung (POF II). Sie geben vor, dass sich der Forschungsbereich „Energie“ vor allem den Feldern zuwendet, auf denen er ein Alleinstellungsmerkmal besitzt, die größte Kompetenz aufweist und einen besonders wirkungsvollen Beitrag zur Sicherung einer langfristigen Energieversorgung leisten kann. Das betrifft insbesondere[1]

→ Aspekte der Grundlagenforschung, die eine Schlüsselstellung für mögliche Durchbrüche bei der Entwicklung von Energietechnologien besitzen,

→ Fragestellungen, die wegen ihrer Komplexität, ihrer Größe und ihres Bedarfs an Forschungsgeräten und Forschungsinfrastruktur am besten in den HGF-Forschungszentren bearbeitet werden können und

→ Technologien, die für die langfristige und sehr langfristige Energieversorgung von Bedeutung sind und deren Marktreife nach 2020 bzw. nach 2050 angenommen werden kann.

In diesem Kontext soll auch strukturell die Vernetzung und Kooperation mit Universitäten, außeruniversitären Forschungsinstituten anderer Wissenschaftsorganisationen sowie industriellen Forschungseinrichtungen ausgebaut werden.

Die forschungspolitischen Vorgaben sind Ergebnis eines umfangreichen Konsultations- und Diskussionsprozesses von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Die Vorarbeiten zu den forschungspolitischen Vorgaben für die dritte Programmperiode (POF III) haben bereits begonnen. Ihre Weiterentwicklung wird in Dialogplattformen sowohl auf Forschungsbereichs- als auch auf HGF-Gemeinschaftsebene mit Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Zuwendungsgebern diskutiert.

Mit Blick auf die dritte Programmperiode für den Forschungsbereich „Energie“ wird es darum gehen, die Verfahren der HGF weiter zu vereinfachen und die Reaktionsfähigkeit innerhalb der Programme durch eine höhere Flexibilität zu verbessern. Auch programmübergreifende Aktivitäten und Querschnittsthemen werden stärker in den Mittelpunkt rücken, um einer „Versäulung“ der Forschungsstrukturen entgegenzuwirken. Ein wichtiger Aspekt liegt in der Vernetzung der Energieforschung mit Großforschungsgeräten und den strategischen Ausbauinvestitionen anderer Forschungsprogramme.

Bereits in der jetzigen Programmperiode POF II wird das Thema „Elektrochemische Speicher“ ein wichtiger Forschungsschwerpunkt werden. Als weiteres wichtiges Querschnittsthema wurde das Portfoliothema „Materials Science for Energy“ identifiziert.

Der Forschungsbereich „Energie“ gliedert sich in die fünf Forschungsprogramme Erneuerbare Energien, Rationelle Energieumwandlung und -nutzung, Nukleare Sicherheitsforschung, Kernfusion sowie Technologie, Innovation und Gesellschaft.

Forschungsförderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

Die Energieforschung ist ein wichtiger Schwerpunkt der DLR-Gesamtstrategie, der von Synergien mit der Verkehrsforschung und der Luft- und Raumfahrt profitiert. Das DLR deckt ein breites Themenspektrum in der Energieforschung ab, das von Energiespeichern, insbesondere thermischen Speichern und Batterien, der Entwicklung und Anwendung von Brennstoffzellen, der Entwicklung von Turbomaschinen und dezentralen Kraftwerkssystemen, der Solarforschung, insbesondere im Bereich solarthermischer Kraftwerke, bis hin zur Systemanalyse reicht.

Das DLR beteiligt sich am Portfoliothema „Elektrochemische Speicher“ und wird seine Aktivitäten in den kommenden Jahren ausbauen. Zudem werden beispielsweise thermische Speicherkonzepte für unterschiedliche Temperaturniveaus und Anwendungen wie adiabate Druckluftspeicher, thermische Speicher für solarthermische Kraftwerke und Niedertemperaturspeicher für Nahwärmenetze oder die oberflächennahe Geothermie, untersucht.

In der Solarforschung werden solarthermische Anwendungen als Schwerpunkt weiter an Bedeutung gewinnen und durch ein neues Institut für Solarforschung gestärkt. Der Solarturm Jülich soll in den kommenden Jahren in das DLR integriert werden und als Forschungsplattform für die Entwicklung einer neuen Generation von Kraftwerkssystemen dienen. Untersucht werden Themen wie neue Kraftwerksgenerationen mit solarer Direktverdampfung in Parabolrinnen, die Entwicklung von Hochtemperatur-Receivern, die Integration von Wärmespeichern oder auch solarhybride Kombikraftwerke. Im Bereich der solarthermischen Forschung engagiert sich das DLR zunehmend auch international.

Die Entwicklung der Verbrennungs- und Gasturbinentechnik zielt auf hohe Effizienz, Emissionsminderung, Verbrennungsstabilität und Brennstoffflexibilität ab. Wichtige Anwendungsbereiche sind dezentrale Kraftwerkssysteme mit Mikrogasturbinen und KWK oder die dezentrale Kopplung von Mikrogasturbine und Brennstoffzelle. Auch die Turbinenentwicklung für wasserstoffreiche Gase wird verfolgt.

Im Rahmen der Systemanalyse entwickelt das DLR Methoden und Instrumente zur Abbildung und Bewertung des Übergangs zu einer nachhaltigen Energieversorgung. Damit wird eine Orientierung bezüglich technischer, ökonomischer und ökologischer Entwicklungspotenziale neuer Technologien gegeben.

Für den Forschungsbereich „Energie“ des DLR stellt das BMWi für den Zeitraum 2010 – 2014 etwa 99,3 Mio. € bereit. Die Aufteilung der Mittel ist in Kapitel 3.4 zusammengestellt.

Literatur:

1 BMWi, BMBF (2008): Forschungspolitische Vorgaben für den Forschungsbereich Energie, beschlossen vom Ausschuss der Zuwendungsgeber am 8. April 2008

2 HGF (2009): Eckpunkte und Leitlinien zur Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik der Bundesregierung, Empfehlungen der Helmholtz-Gemeinschaft

3.4 Haushaltsmittel

Energieforschung BMWi (Tsd. Euro)					
	Ist	Soll	Plandaten[1, 2]		
	2010	2011	2012	2013	2014
Projektförderung					
Rationelle Energieverwendung	118.276	119.294	120.894	115.144	122.494
Elektromobilität[4]	16.819[3]	21.190[3]	—	—	—
Energie- und Klimafonds[4]	—	22.000	28.500	103.250	113.500
Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung	32.980	33.280	33.680	34.080	34.080
Summe	**168.075**	**195.764**	**183.074**	**252.474**	**270.074**
Institutionelle Förderung (DLR in der HGF)					
Rationelle Energieverwendung und -nutzung	12.700	14.200	14.600	15.330	15.987
Erneuerbare Energien	3.500	3.600	4.200	4.470	4.713
Technologie, Innovation, Gesellschaft	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Summe	17.400	19.000	20.000	21.000	21.900
Summe	**185.475**	**214.764**	**203.074**	**273.474**	**291.974**

1 Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
2 Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt
3 Enthält Mittel aus dem Konjunkturpaket II
4 Elektromobilität ab 2012 in Energie- und Klimafonds integriert

4 Forschungsförderung des BMU

Deutschland soll in Zukunft bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden. Erneuerbare Energien wie Windkraft, Solarenergie, Geothermie, Wasserkraft und Biomasse sind – neben einer deutlichen Steigerung der Energieeffizienz – der Schlüssel, um dieses Ziel zu erreichen.

Bereits in den vergangenen Jahren konnte der Beitrag der erneuerbaren Energien massiv gesteigert werden. Im Jahr 2010 stammten bereits rund 17 Prozent des Stromverbrauchs und über 10 Prozent des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien. Innerhalb von 10 Jahren haben sich diese Anteile fast verdreifacht. Durch die Nutzung erneuerbarer Energien sind in Deutschland im Jahr 2010 rund 120 Millionen Tonnen Kohlendioxid vermieden worden. Erneuerbare Energien leisten bereits jetzt einen wichtigen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen.

In Zukunft sollen erneuerbare Energien den Hauptanteil am Energiemix übernehmen. In den nächsten 10 Jahren – bis 2020 – soll ihr Anteil am Bruttoendenergieverbrauch 18 Prozent betragen, der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 35 Prozent. Nach den Vorstellungen der Bundesregierung wird bis 2050 die Energieversorgung Deutschlands weitgehend auf erneuerbaren Energien beruhen: Ihr Anteil am Bruttoendenergieverbrauch soll auf 60 Prozent steigen, ihr Anteil am Bruttostromverbrauch sogar auf 80 Prozent. Im Energiekonzept der Bundesregierung wird der Weg dahin mit konkreten, zu überprüfenden Maßnahmen unterlegt.

Diese Zielrichtung bedeutet letztlich einen grundlegenden Umbau des heutigen Energieversorgungssystems. Eine solche Modernisierung bietet – neben der massiven Senkung der Treibhausgasemissionen – große Potenziale für Innovation, Wachstum und Beschäftigung. Forschungsförderung für erneuerbare Energien ist vor diesem Hintergrund eine strategische Investition in Zukunftstechnologien, in wirtschaftlich lohnenswertes Wissen und Know-how und damit in die zukunftsfähige wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands.

Ziel der Bundesregierung ist, den Ausbau der erneuerbaren Energien umwelt- und naturverträglich zu gestalten. Neben der Vereinbarkeit mit dem Klimaschutz und Umweltauswirkungen auf Wasser, Boden und Luft sind der Schutz der biologischen Vielfalt, des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes bis hin zu einem naturverträglichen Hochwasserschutz im Rahmen der Ausbaustrategie wichtig. Damit wird auch eine breite Akzeptanz für den Ausbau der erneuerbaren Energien gewährleistet.

Strategische und operative Ziele

Die Forschungsförderung für erneuerbare Energien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) trägt dazu bei, die Treibhausgasemissionen zu mindern und die Modernisierung der Energieversorgung Deutschlands voranzubringen.[1] Innerhalb der eingangs genannten Ziele der Energieforschungspolitik legt es in der Förderung von Forschung und Entwicklung erneuerbarer Energien einen Schwerpunkt auf die strategischen Ziele:

→ die Treibhausgasemissionen zu mindern und die Ausbauziele der erneuerbaren Energien zu erreichen,

→ die Kosten der Technologien der erneuerbaren Energien zu senken. Dies bedeutet zum einen eine Steigerung der Wirkungsgrade der einzelnen Technologien. Zum anderen geht es darum, den gesamten Produktionsprozess effizienter und kostengünstiger zu gestalten, die Anlagen und Systeme langlebig betriebssicherer zu machen,

→ die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen gerade auf den Zukunftsmärkten für die erneuerbaren Energien zu stärken und zukunftsfähige Arbeitsplätze zu schaffen,

→ die Energiesysteme mit Blick auf einen Hauptanteil erneuerbarer Energien zu optimieren

→ und den Ausbau und die Nutzung der erneuerbaren Energien umwelt- und naturverträglich zu gestalten.

1 Weitere Förderinstrumente sind z. B. das Erneuerbare-Energien-Gesetz oder das Marktanreizprogramm.

Das Bundesumweltministerium legt zudem großen Wert darauf, dass die Ergebnisse der geförderten Forschungsprojekte schnell in die praktische Anwendung überführt werden können.

Das BMU führt regelmäßig Strategiegespräche zur zukünftigen Forschungsförderung in den verschiedenen Schwerpunkten mit Vertretern aus Wirtschaft und Forschung. Die Auswertung dieser Gespräche fließt in die Ausgestaltung und die Schwerpunktsetzung der Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien ein.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Die Schwerpunkte der anwendungsorientierten Forschungsförderung bei erneuerbaren Energien liegen in Technologiebereichen mit hohem Ausbau-, Innovations- und Treibhausgasminderungspotenzial. Der Ausbau der Forschungsförderung im Bereich der **Windenergie** – sowohl an Land (onshore) wie auf See (offshore) – wird daher fortgesetzt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf Kosteneffizienz und Berücksichtigung der ökologischen Auswirkungen. Die **Photovoltaik** bleibt ein zweiter wichtiger Schwerpunkt. Der Fokus liegt hier darauf, durch die Förderung anwendungsorientierter Forschung die Technologieentwicklung aus den Labors in industrielle Prozesse zu bringen, um die deutsche Technologie- und Marktführerschaft zu behaupten. Die Unterstützung von Forschung und Entwicklung im Bereich der **Erdwärmenutzung (Geothermie)** wird fortgesetzt, um die in Deutschland regional unterschiedlich verteilten Potenziale der Geothermie zu heben. Sie bietet den Vorteil, dass die hiermit gewonnene Energie stetig zur Verfügung steht und somit eine wichtige Ergänzung zu den fluktuierenden erneuerbaren Energieträgern darstellt. Hinzu kommt das große Potenzial der Geothermie für eine emissionsarme Wärmeversorgung. Bei der Förderung der **solarthermischen Versorgung mit Wärme und Kälte** wird es entscheidend sein, neben der Weiterentwicklung der Kollektortechnik auch die Fragen der Integration im Gebäudebereich, der solaren Kühlung und Prozesswärme sowie der saisonalen Speicherung der Energie anzugehen. Perspektivisch kann auch der Import von Solarstrom v. a. aus den Ländern Nordafrikas einen Beitrag für die zukünftige Energieversorgung in Deutschland leisten. Daher, aber auch zum Kompetenzerhalt der Wirtschaft, wird auch Forschung und Entwicklung im Bereich **solarthermischer Kraftwerke** gefördert. Auch Projekte im Bereich **Wasserkraft und Meeresenergie** werden gefördert, wobei bei Wasserkraft besonderer Wert auf die ökologische Optimierung gelegt wird.

Der kontinuierliche Ausbau der erneuerbaren Energien erfordert die ständige Optimierung des Zusammenspiels der erneuerbaren Energien untereinander und mit den konventionellen Energien sowie eine intelligente Abstimmung von Stromerzeugung und Stromverbrauch. Entsprechend dem klaren Bekenntnis der Bundesregierung zu einem Energiesystem mit einem Hauptanteil erneuerbarer Energien und angesichts der besonderen Herausforderungen einer Energie- und Stromversorgung mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien wird der Förderschwerpunkt **Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme** ausgebaut. Die Verbesserung der Netzinfrastruktur und -technik, intelligente Netze, Speichertechnologien sowie Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien sind entscheidend für ein Energiesystem, das vorwiegend auf erneuerbaren Energien beruht. Angesichts der umfassenden und energieträgerübergreifenden Bedeutung von Netzen und Energiespeichern werden hierzu gemeinsame Förderinitiativen mit dem BMWi und dem BMBF durchgeführt (siehe auch Kapitel 4.7).

Auch eine Förderung von Querschnittsthemen und übergreifenden Untersuchungen im Rahmen der Gesamtstrategie zum weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wird durch das Bundesumweltministerium unterstützt.

Die anwendungsnahe Forschungsförderung des BMU wird durch Grundlagenforschung des BMBF ergänzt.

4.1 Windenergie

Die Windenergie wird in Deutschland und weltweit in erster Linie durch Windenergieanlagen genutzt, bei denen durch Rotorblätter und Generatoren die Bewegungsenergie der Luft in elektrische Energie umgewandelt wird. Dabei haben sich

Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse durchgesetzt, die den aerodynamischen Auftrieb nutzen.

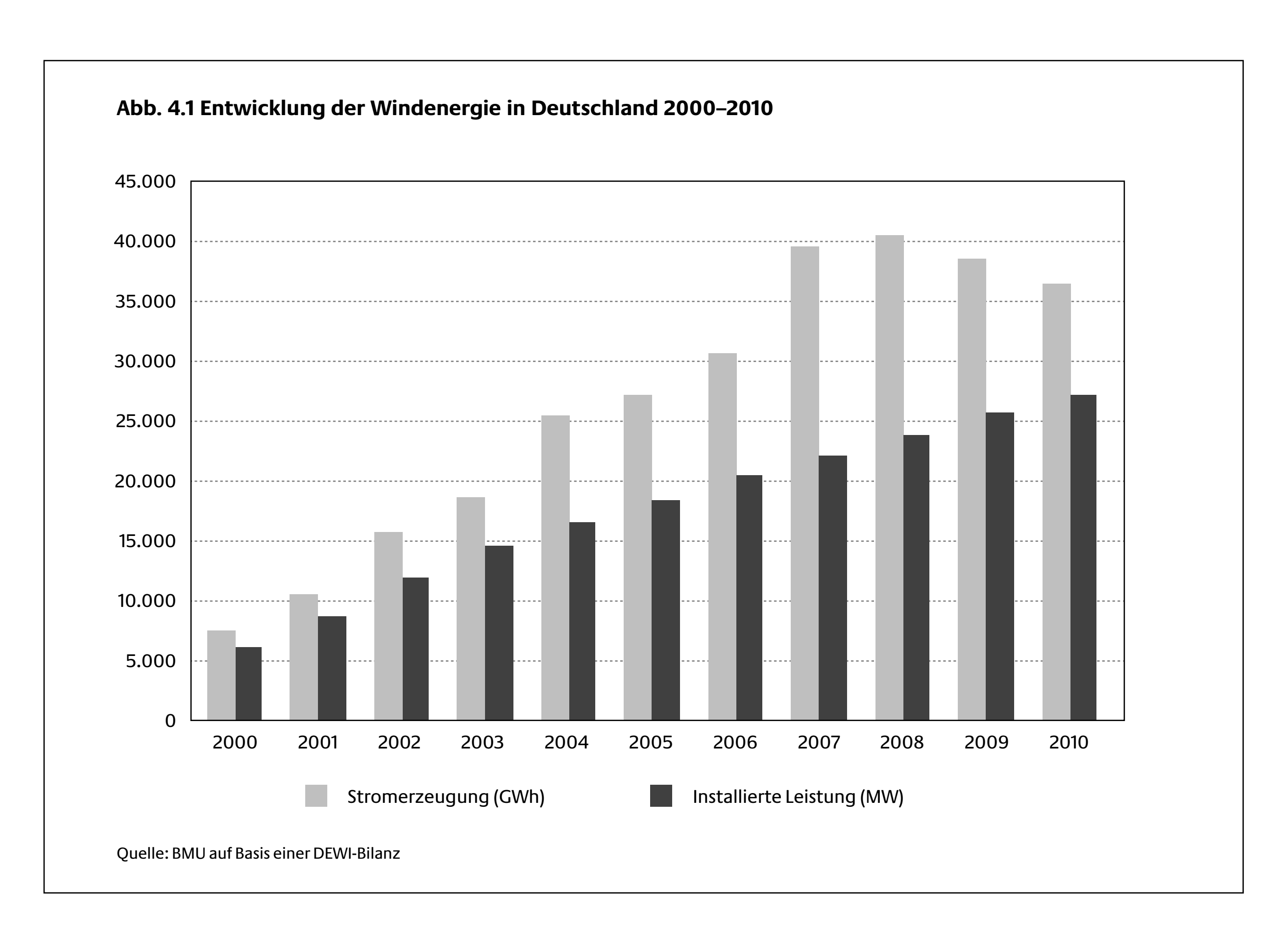
Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Die Stromerzeugung aus Wind hat sich in den letzten 10 Jahren verfünffacht, von 7,55 TWh im Jahr 2000 auf rd. 36,5 TWh im Jahr 2010 (1990: 0,071 TWh). Gegenwärtig sind in Deutschland mehr als 21.500 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 27,2 GW fast ausschließlich onshore installiert. Bis 2009 wurde die Windenergie in Deutschland vor allem an Land genutzt. Am 27. April 2010 wurde der erste deutsche Hochsee-Windpark alpha ventus eröffnet.

Die Windenergie dürfte auf absehbare Zeit den größten Beitrag zum angestrebten Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor leisten. Die Bundesregierung sieht bis zum Jahr 2020 ein Potenzial von jährlich 104 TWh aus Windenergie bis zum Jahr 2020, davon 32 TWh auf See (bei 10 GW installierter Leistung) und 73 TWh an Land (bei 36 GW installierter Leistung) (Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie). Auch das Energiekonzept der Bundesregierung bescheinigt der Windenergie ein großes Potenzial, dessen Nutzung einen massiven Ausbau der Windkraftkapazitäten on- und offshore erfordert.

Der Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland hat sich in den letzten Jahren zunächst verzögert. Dabei waren die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Offshore-Windenergie spätestens seit der EEG-Novelle 2009 gut. Nicht zuletzt durch die internationale Finanzkrise, deren Auswirkungen auf den Markt ab dem Jahr 2008 spürbar waren, wurden Verzögerungen bewirkt. Für die nächsten Jahre wird jedoch mit einer Entspannung dieser Situation gerechnet. Derzeit werden die ersten kommerziellen deutschen Offshore-Windparks gebaut.

Abb. 4.1 Entwicklung der Windenergie in Deutschland 2000–2010



Quelle: BMU auf Basis einer DEWI-Bilanz

Die Bundesregierung will den Ausbau der Offshore-Windenergie deutlich beschleunigen: Bis 2030 soll die Offshore-Windleistung auf 25 GW ausgebaut werden.

Die Windenergie an Land bietet kurz- und mittelfristig das wirtschaftlichste Ausbaupotenzial im Bereich erneuerbarer Energien. In der Vergangenheit war der größte Anteil der neu installierten Leistung durch die Erschließung neuer Anlagenstandorte und den Zubau neuer Anlagen erreicht worden. Heute werden jedoch die verfügbaren und für die Windenergie nutzbaren Flächen knapper. Einen zweiten Schwerpunkt setzt die Bundesregierung daher insbesondere bei der Leistungsausweitung an bestehenden Standorten (Repowering).

Ziele der Forschungsförderung

Die Förderung für Forschung und Entwicklung im Windbereich hat das Ziel, die technologischen Voraussetzungen für die Nutzung der Windenergie auf See und an Land zu verbessern und zur weiteren Kostensenkung der Windstromerzeugung bei Herstellung und Betrieb beizutragen. Deutsche Unternehmen und Forschungsinstitute sind in Technologiefragen international führend. Um diese Position zu erhalten, muss die Technologieentwicklung auch in Zukunft gezielt ausgebaut werden. Gleichzeitig wird durch ökologische Begleitforschung dazu beigetragen, dass Ausbau und Nutzung der Windenergie umwelt- und naturverträglich geschehen.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Schwerpunkte der Forschungsförderung im Windbereich sind die übergreifende Technologieentwicklung für die Nutzung auf See und an Land, die spezifische Technologieentwicklung für die Nutzung der Windenergie auf See sowie die ökologische Begleit- und Akzeptanzforschung.

4.1.1 Weiterentwicklung der Technologien für die Nutzung an Land und auf See

Um die Senkung der spezifischen Kosten, Ertragssteigerungen und die Erhöhung der Verfügbarkeit von Windenergieanlagen zu fördern, werden insbesondere die folgenden Förderschwerpunkte gesetzt:

→ Unterstützt wird die Verbesserung einzelner Komponenten der Windkraftanlagen, insbesondere

- die anwendungsorientierte Entwicklung und der Einsatz geeigneter Werkstoffe,
- innovative Turmbaukonzepte,
- die Weiterentwicklung des Triebstrangs bei Anlagen mit oder ohne Getriebe,
- die Entwicklung innovativer Konzepte bei Gondeln,
- die Weiterentwicklung der Rotorblätter, insbesondere im Hinblick auf die Optimierung von Aerodynamik, Akustik und das leistungsbezogene Gewicht.

→ Neben der Weiterentwicklung einzelner Komponenten ist die Verbesserung der Gesamtanlagen entscheidend. Das BMU setzt daher einen weiteren Schwerpunkt auf übergreifende Aspekte, insbesondere

- die Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften von Windparks (z. B. Nachlaufströmungen),
- die Bestimmung der Strömungsverhältnisse in großen Höhen (> 100 m),
- die Produktionsautomatisierung und Qualitätssicherung in der Produktion,
- die Optimierung von Wartung und Betriebsführung,
- die Verbesserung der Netzeigenschaften von Windenergieanlagen (siehe auch Kapitel 4.7 „Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“),
- einen umweltverträglichen Anlagenrückbau,
- die Erhebung und Auswertung von Daten und Erfahrungen aus dem Betrieb der Anlagen mit dem Ziel der Systemverbesserung.

Um den Einsatz der Technologien in der Praxis untersuchen zu können, können u. a.:

→ Forschungsanlagen und Forschungsfelder, insbesondere Prototypen-Testfelder, die es durch Wechsel der Anlagen ermöglichen, unterschiedliche Prototypen in der Praxis zu erproben, und

- Prüfstände mit flexiblen Testeinrichtungen für einzelne Komponenten

gefördert werden.

4.1.2 Windenergienutzung auf See

Die Forschung und Entwicklung der **Windenergienutzung auf See** wird u. a. durch den Betrieb der drei Forschungsplattformen FINO 1, 2 und 3 in Nord- und Ostsee flankiert. Auch durch die Forschungsinitiative am Offshore-Testfeld alpha ventus RAVE (Research at alpha ventus) werden wichtige Fragestellungen untersucht und Daten gewonnen. Aus den Erfahrungen der Planung, Errichtung und dem Test- und Normalbetrieb haben sich bereits jetzt weitere offene Fragestellungen ergeben, für deren Bearbeitung Forschungsförderung durch das Bundesumweltministerium gewährt werden kann und deren Bearbeitung im Rahmen auch von Offshore-Testfeldern am Rande kommerzieller Windparks sinnvoll sein kann. Dies betrifft insbesondere:

- Gründungsvarianten und Tragstrukturen,
- umwelt- und naturverträglicher Anlagenaufbau,
- Windphysik und verbesserte Ertragsprognosen für Windparks auf See,
- rechnergestützte Simulationen der meteorologischen Verhältnisse inklusive der Wellenlasten auf See,
- Logistikkonzepte,
- Optimierung der Konzepte und Technologien für Bau, Betrieb und Instandhaltung,
- Technologien zur Senkung von spezifischen Investitionskosten und Betriebskosten,
- Datengewinnung aus kommerziellen Offshore-Windparks.

4.1.3 Ökologische Begleitforschung, Akzeptanzforschung Windenergie

Der Ausbau der Windenergie soll umwelt- und naturverträglich erfolgen. Vor diesem Hintergrund wurde die ökologische Begleitforschung im Rahmen der Forschung für erneuerbare Energien bereits in den vergangenen Jahren verstärkt und wird auch künftig auf hohem Niveau fortgesetzt. Zur ökologischen Begleitforschung gehören die Erprobung und Entwicklung langfristig wirksamer Vorkehrungen und Standards, um einen naturverträglichen Ausbau der erneuerbaren Energien sicherzustellen, einschließlich geeigneter Ausgleichsmaßnahmen sowie die ökologische Optimierung der Technologien. Die ökologische Begleitforschung liefert wichtige Hinweise darauf, wie der weitere Ausbau oder auch die Umgestaltung bestehender Anlagen möglichst naturverträglich gestaltet werden kann. Schwerpunkte bei der ökologischen Begleitforschung liegen insbesondere auf:

- Schallminderungsmaßnahmen insbesondere bei der Errichtung der Anlagen,
- der ökologischen Bewertung neuer Fundamenttypen,
- Vogelzug auch unter Berücksichtigung der Befeuerung von WEA,
- Berücksichtigung der Erkenntnisse zum Fledermausschlag in der Entwicklung von WEA-Regelungskonzepten,
- Wirkung von Windenergieanlagen auf Seevögel und Fische z. B. bezüglich Lebensraumverlust,
- Einfluss des künftigen Offshore-Ausbaus auf das Ökosystem/Mikroklima,
- Standardisierung von Messverfahren,
- Bewertung kumulativer Wirkungen von Windparks, insbesondere zur Entwicklung von Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen und Erarbeitung von Belastungsgrenzen.

Entscheidend für die Nutzung der Windenergie ist auch ihre umfassende Integration in das Energiesystem (siehe hierzu Kapitel 4.7).

4.2 Photovoltaik

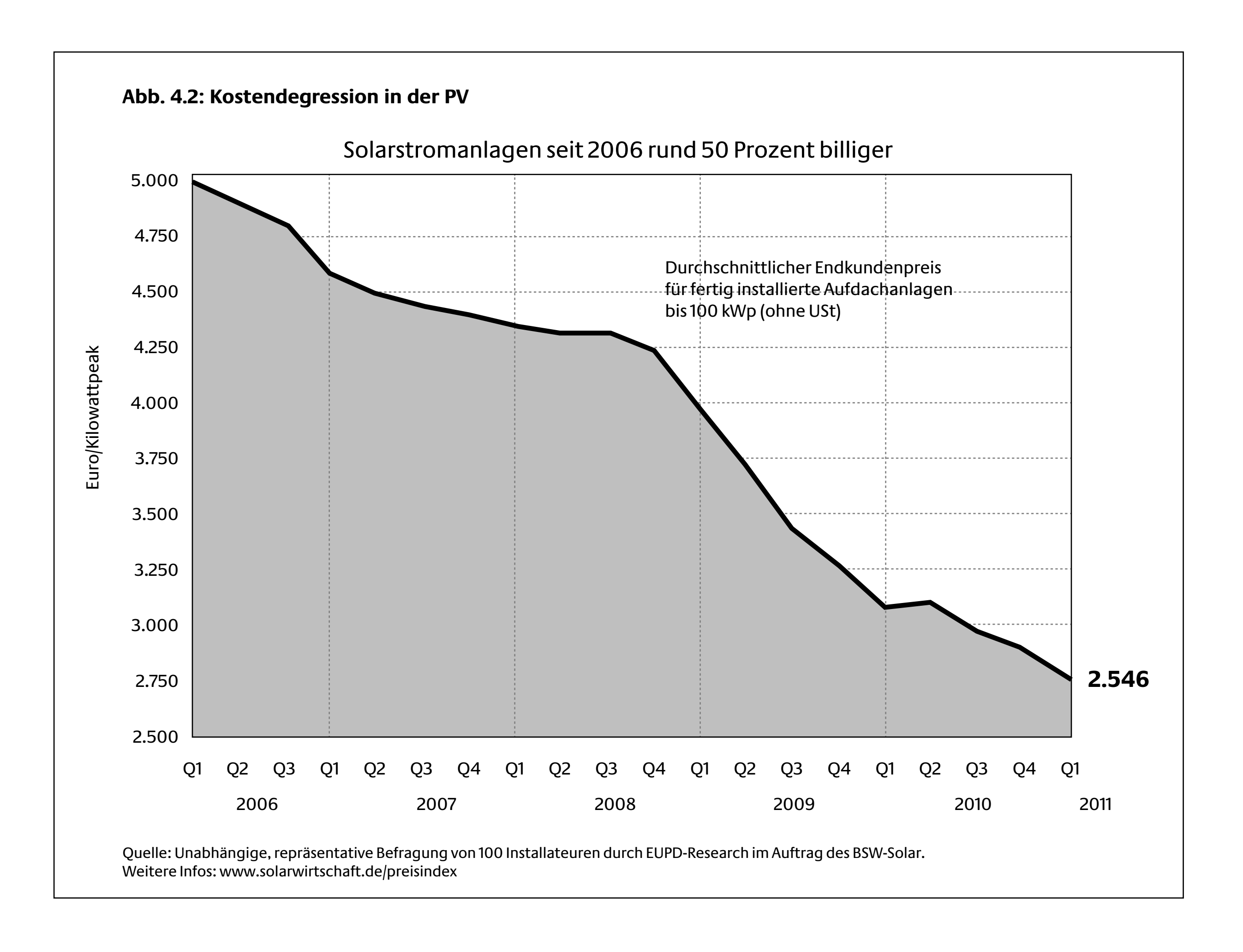
Mittels Photovoltaik wird in Halbleitern, sogenannten Solarzellen, das Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom umgewandelt. Überwiegend wird dafür das Halbleitermaterial Silizium eingesetzt; aber auch andere Materialen, insbesondere Verbindungshalbleiter, werden genutzt.

Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Der Photovoltaik-Weltmarkt hat sich in den letzten Jahren dynamisch entwickelt. Wurden 2005 noch 1,8 GW produziert, sind es 2010 bereits 17–20 GW. Die Entwicklung wird getrieben von unterschiedlichen Mechanismen zur Unterstützung der Markteinführung, von denen sich viele das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zum Vorbild genommen haben. In diesem Kontext ist Deutschland momentan der Leitmarkt für die Photovoltaik. Die Vergütungssätze für Photovoltaik im EEG werden kontinuierlich angepasst, um den Ausbau gesamtwirtschaftlich zu gestalten. Lagen 2005 die Kosten für Strom aus Photovoltaik in Deutschland noch bei 0,50 bis 0,60 €/kWh, wurde das damals für 2010 prognostizierte Niveau von rund 0,30 €/kWh im Jahr 2010 auch tatsächlich erreicht.

Auch wenn Deutschland nicht zu den sonnenreichsten Gebieten der Erde zählt, besteht hier längerfristig noch ein größeres Ausbaupotenzial. Im „Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energien“ der Bundesregierung von 2010 wird für 2020 eine installierte Kapazität von 51,7 GW erwartet, was einer Stromerzeugung von 41,4 TWh entspricht. Entscheidend für die Weiterentwicklung wird auch die Umsetzung der Rahmenbedingungen des zum 1.1.2012 novellierten EEG sein. Daneben ist die Photovoltaik ein Technologiekomplex, der wichtige Exportmöglichkeiten

Abb. 4.2: Kostendegression in der PV



Quelle: Unabhängige, repräsentative Befragung von 100 Installateuren durch EUPD-Research im Auftrag des BSW-Solar.
Weitere Infos: www.solarwirtschaft.de/preisindex

bietet. Die Internationale Energieagentur IEA erwartet in ihrer Studie *„Solar photovoltaic energy technology roadmap"* ab 2030 weltweit einen jährlichen Zubau von über 100 GW.

Um den Ausbau der Photovoltaik wirtschaftlich und effizient zu gestalten und die Ausbauziele zu erreichen, sind weitere deutliche Kostensenkungen notwendig. Bis 2020 sollen die Kosten für Strom aus Photovoltaik etwa bei 10 ct/kWh liegen. Voraussetzung ist eine kontinuierliche Reduzierung der Systempreise. 2010 wurde bereits ein Niveau von knapp 3.000 €/kW erreicht. Dieses soll bis 2020 noch einmal auf 1.300 bis 1.500 €/kW mehr als halbiert werden.

Langfristiges Ziel ist ein durchaus realistischer Systempreis von unter 1.000 €/kW, der einen Strompreis von unter 10 ct/kWh ermöglicht. Hierzu kann die Forschungsförderung einen entscheidenden Beitrag leisten.

Im globalen Wettbewerb haben deutsche Forschungseinrichtungen und Unternehmen wesentliche Impulse gegeben. Deutsche Forschungsinstitute zählen zu Recht zu den international renommiertesten Entwicklungslabors. Der deutsche Anlagenbau liefert Produktionsanlagen, die weltweit Standards setzen. Die Photovoltaikunternehmen selbst sind eine dynamisch wachsende Branche, deren Umsatz sich seit 2005 mehr als verdreifacht hat und die wichtige Hochtechnologie-Arbeitsplätze in Deutschland schafft.

Ziele der Forschungsförderung

Die Forschungsförderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat vor diesem Hintergrund die Ziele,

→ die Wirkungsgrade weiter zu erhöhen, insbesondere die Lücke zwischen den im Labor erzielten und in der Produktion erreichten Wirkungsgraden zu schließen,

→ die Kosten durch effizientere Produktionsverfahren und den Einsatz neuer Prozessschritte wie Laser oder Automatisierungstechnologien weiter zu senken,

→ den Materialeinsatz durch Effizienzmaßnahmen sowie den Einsatz neuer Materialien und Kombinationen zu reduzieren und

→ die Lebensdauer der Komponenten von Photovoltaiksystemen zu erhöhen, um deren Wirtschaftlichkeit weiter zu steigern.

Gegenüber kostengünstigeren ausländischen Standardprodukten werden in Deutschland nur Fertigungen bestehen können, die erfolgreich und stetig in Produktinnovationen investieren. Um die Technologieführerschaft Deutschlands auf breiter Basis zu halten, muss der Forschungs- und Entwicklungsaufwand verstärkt werden. Insbesondere müssen Ergebnisse, die auf Laborebene bereits realisiert sind, Eingang in die Fertigung finden. Das Bundesumweltministerium setzt daher darauf, vorwiegend vorwettbewerbliche Forschung zu adressieren, auf deren Forschungsergebnisse möglichst viele deutsche Firmen Zugriff haben.

In diesem Zusammenhang hat die Bundesregierung 2010 auch die „Innovationsallianz Photovoltaik" gestartet, die insbesondere Wert legt auf eine verstärkte Kooperation innerhalb der Prozessketten und zwischen Ausrüstungs- und Photovoltaikindustrie. Es wird erwartet, dass die Projekte der von BMU und BMBF in gemeinsamer Federführung durchgeführten „Innovationsallianz Photovoltaik" die Anstrengungen der Industrie unterstützen, eine kontinuierliche Senkung der Fertigungskosten zu erreichen und damit gleichzeitig die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Sowohl die Silizium-Wafertechnologie als auch die Dünnschichttechnologien besitzen das Potenzial, die notwendigen Kostenziele zu erreichen und damit in Zukunft größere Marktanteile zu erobern. Gegenwärtig ist nicht eindeutig, welche der derzeit existierenden Technologien in Zukunft marktbeherrschend sein werden. Die Forschungsförderung orientiert sich einerseits daran, die etablierten Solarzellen aus kristallinem Silizium weiterzuentwickeln, andererseits verschiedene Dünnschichttechnologien mit hohem Potenzial voranzubringen.

4.2.1 Silizium-Wafertechnologie

Die Wertschöpfungskette zur Silizium-Wafertechnologie beginnt beim Rohstoff Silizium und setzt sich fort über die Scheiben- („Wafer“-) und Zellfertigung bis hin zum Modulbau. Es gilt, in allen Prozessschritten Materialeinsatz und Energieaufwand deutlich zu reduzieren. Die wesentliche Kenngröße ist der Einsatz von Siliziummaterial bezogen auf die später im Modul erzielte Leistung. Lag dieser Wert 2005 noch bei 12 t/MW, werden heute bereits 7 t/MW realisiert. Eine weitere Reduktion auf 5 t/MW erscheint notwendig, um die angestrebten Kostenziele zu erreichen. Gegenstand der Förderung ist insbesondere:

→ **Rohstoff, Kristallisation und Scheiben- („Wafer“-)fertigung:** Solarsilizium muss ausreichend rein sein, um später in der Zelle und im Modul hohe Wirkungsgrade zu ermöglichen. Gleichzeitig muss aber bereits hier auf eine Kostenreduktion hingearbeitet werden. In der Waferfertigung gilt es, die einzelnen Teilprozesse möglichst materialsparend umzusetzen. Eine mögliche Alternative zum Schneiden des Siliziums in Scheiben ist die Herstellung der Siliziumscheiben durch die Kristallisation in Form von dünnen Bändern direkt aus der Siliziumschmelze.

→ **Zellherstellung:** Standard in der Zellfertigung sind heute noch immer relativ einfache Strukturen, die Wirkungsgrade bis 17 % erzielen. Zwischenzeitlich wurden auf Laborebene Zellkonzepte entwickelt, die die 20 %-Marke deutlich überschreiten. Es wird notwendig sein, diese Konzepte in die Fertigung zu übertragen und gleichzeitig die spezifischen Produktionskosten zu senken. Dies stellt insbesondere Ansprüche an die Prozesstechnologien.

→ **Modulherstellung:** Der abschließende Prozessschritt ist die Weiterverarbeitung der Solarzellen zu Modulen. Vordringliche Ziele für die kommenden Jahre sind, umweltbelastende Stoffe zu vermeiden, die Qualitätssicherung so zu verbessern, dass eine Lebensdauer von über 25 Jahren bei mindestens 90 % der Produktionsnennleistung erreicht wird und die Modultechnik an neue Zellkonzepte anzupassen.

Übergreifend über alle Teilprozesse ist darauf zu achten, dass durch hohe Prozessausbeuten und Materialeinsparungen die konzeptionellen Kostensenkungspotenziale unterstützt werden. Verbesserte Prozesstechniken sind dabei ein Schlüsselelement. Weiterhin ist die Produktion insgesamt darauf auszurichten, dass der Energieeinsatz reduziert und die Ökologie belastende Stoffe vermieden werden.

4.2.2 Dünnschichtsolarzellen

Der Schwerpunkt der künftigen Forschung zu den Dünnschicht-Technologien wird bei den Fertigungstechniken gesehen. Als wesentlich werden höhere Prozessausbeuten und längere Anlagenstandzeiten erachtet. Dazu zählt auch der Ansatz, Dünnschichtzellen im Rolle-zu-Rolle-Prozess auf flexiblen Substraten kostengünstig und quasi endlos abzuscheiden. Parallel geht es darum, die Abscheideraten zu erhöhen und den Material- und Energieverbrauch weiter zu senken. Wie bei der Silizium-Wafertechnik sind Aspekte der Langzeitstabilität der Module zu untersuchen. Weiter müssen umweltbelastende Stoffe in der Produktion vermieden werden.

Innerhalb der Dünnschicht-Technologien fördert das Bundesumweltministerium schwerpunktmäßig die Herstellung der Solarzellen auf der Basis von Silizium und von Chalkopyriten.

→ **Silizium-Dünnschichtsolarzellen** überzeugen vor allem, weil das Basismaterial Silizium fast unbeschränkt verfügbar ist und weitere Entwicklungsfortschritte durch spin-offs beispielsweise aus der Flat-Panel-Industrie erwartet werden. Obwohl die Fertigungskapazitäten zu Zellen aus amorphem und mikromorphem Silizium in den letzten Jahren signifikant ausgebaut wurden und die Fertigungstechnik von Fortschritten aus der Flat-Panel-Industrie profitieren konnte, ist das Wirkungsgradpotenzial dieser Technologie bei Weitem nicht ausgeschöpft. Gute Module erreichen heute 8,5 % Wirkungsgrad, 2005 waren es noch 6 %. Jedoch sollten Werte von mindestens 12 % erreichbar sein. Damit wäre auch ein deutliches Kostensenkungspotenzial erschlossen.

Kristalline Silizium-Dünnschichtzellen befinden sich nach wie vor im Forschungsstadium; eine Produktionsreife auch unter ökonomischen Gesichtspunkten ist noch nicht absehbar.

→ **Chalkopyrit-Dünnschichtzellen (CIS)** haben das Potenzial zu hohen Wirkungsgraden. Mit Wirkungsgraden in der Produktion von bis zu 13 % und einem nachgewiesenen Potenzial über 20 % können CIS-Solarzellen mit dem Wirkungsgrad von kristallinen Siliziumzellen konkurrieren. Primäres Ziel dieser Technologie muss es sein, die Fertigungs- und Prozesstechnik weiter zu verbessern, um einerseits das aufgezeigte Wirkungsgradpotenzial zu erschließen und andererseits eine insgesamt kostengünstige Produktion zu realisieren. Dazu zählt auch die Substitution teurer Materialien.

→ **Dünnschichtsolarzellen aus Cadmiumtellurid (CdTe)** sind derzeit in der Dünnschichttechnologie führend bezüglich Kosten und Produktionsmengen. Die Entwicklungspotenziale werden gegenwärtig als geringer eingeschätzt als bei Dünnschicht-Solarzellen auf der Basis von Silizium oder Chalkopyriten. Hinzu kommt, dass die ökologischen Auswirkungen dieser Technologie noch nicht ausreichend geklärt sind.

Diese Schwerpunkte in der anwendungsorientierten Forschungsförderung des BMU werden durch die grundlagenorientierte Förderung des BMBF bei der Entwicklung von Dünnschichtsolarzellen ergänzt (Kapitel 6.4.3). Die Fördermaßnahmen sind aufeinander abgestimmt.

4.2.3 Systemtechnik

Die Systemtechnik zur Einspeisung von Solarstrom ins Elektrizitätsnetz ist technisch weit ausgereift. Fragen des Zusammenwirkens vieler dezentraler Einspeiser mit dem Netz und untereinander werden im Förderschwerpunkt „Optimierung der Energieversorgungssysteme“ (Kap. 4.7) aufgenommen.

Die zukünftigen Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich deshalb auf die **Weiterentwicklung dezentraler Leistungselektronik für die Netzeinspeisung**, beispielsweise hocheffiziente Wechselrichtertopologien und deren Anpassung an künftige Modulgenerationen.

4.2.4 Alternative Solarzellenkonzepte und neue Forschungsansätze

Mit einem Systemwirkungsgrad von 25 % stellt die konzentrierende Photovoltaik in Gebieten hoher direkter Solarstrahlung eine interessante Alternative dar. Auch wenn solche Systeme in Deutschland wegen eines hohen diffusen Strahlungsanteils nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden, bietet sich ein attraktiver Exportmarkt. Deutsche Forschungseinrichtungen, Zellhersteller und Systemanbieter haben bereits einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Beispielsweise konnten GaAsP/GaInP/Ge-Tripelsolarzellen mit einem Wirkungsgrad von über 40 % gefertigt werden. Vor diesem Hintergrund werden Fragestellungen der konzentrierenden Photovoltaik mit Blick auf eine Erhöhung des Systemwirkungsgrads bei gleichzeitiger Senkung der Fertigungskosten als relevant erachtet.

Eine wichtige Rolle in der Forschung spielen weiterhin **neue, innovative Zellkonzepte**. Dazu gehören auch organische Solarzellen sowie Farbstoffzellen. Um langfristig diesen Solarzellen-Konzepten eine Entwicklungschance zu bieten, werden die hierzu notwendigen Aktivitäten durch das BMBF (s. Kap. 6.4.3) adressiert. Forschungsziele sind dabei die Übertragbarkeit in einen industriellen Fertigungsmaßstab, eine energietechnisch relevante Lebensdauer und Umweltverträglichkeit.

Insbesondere für Photovoltaikanlagen auf Freiflächen sind Vorhaben der ökologischen Begleitforschung auf die Erfassung von Auswirkungen des Baus und Betriebs der Anlagen, einschließlich ökologische, Mindestanforderungen und begleitende, Akzeptanzforschung, auszurichten.

Technologieübergreifende Forschungsgebiete: Die Photovoltaik eignet sich hervorragend für die Gebäudeintegration (BIPV – building integrated PV). Dabei übernehmen Photovoltaikmodule Aufgaben der Gebäudehülle. Durch diese Substitution lassen sich bezogen auf das Gesamtgebäude Kosten einsparen. Obwohl ökonomisch und architektonisch potenziell attraktiv, sind gebäudeintegrierte

Photovoltaikanlagen heute noch die Ausnahme. Ziel sollte die Entwicklung standardisierter gebäudeintegrierbarer Module zur Erfüllung der Anforderungen für Null- oder Plusenergiegebäude sein.

Für die Photovoltaik als eine saubere Energieoption sind außerdem übergreifende Fragestellungen bezüglich der Vermeidung Umwelt und Gesundheit belastender Stoffe in allen Systemkomponenten, der Reduzierung des Energieeinsatzes bei deren Herstellung und des Recyclings relevant.

4.3 Tiefe Geothermie

Geothermie bezeichnet die Nutzung von Erdwärme für Nutzwärme oder Stromgewinnung. Bei der tiefen Geothermie wird Erdwärme aus geothermischen Reservoiren in Tiefen ab 400 Meter genutzt, die mittels Tiefbohrungen erschlossen werden. Bei der hydrothermalen Geothermie wird vorwiegend die Energie des im Untergrund enthaltenen warmen bis heißen Wassers genutzt, bei der petrothermalen Geothermie wird die im Gestein gespeicherte Energie genutzt.

Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Deutschland verfügt über drei zur geothermischen Nutzung besonders geeignete Regionen: das norddeutsche Becken, den Oberrheingraben und das süddeutsche Molassebecken. Als Ergebnis aus den laufenden Forschungsprojekten ist ersichtlich, dass jede dieser Regionen charakteristische Merkmale aufweist, die zu unterschiedlichen Chancen und Herausforderungen für die Nutzung der geothermischen Wärme führen. Das norddeutsche Becken zeichnet sich durch gemäßigte Fließraten, moderate Temperaturen und zum Teil sehr hohe Salinität (Salzhaltigkeit) des Thermalwassers aus, während das süddeutsche Molassebecken teilweise hohe Fließraten, hohe Temperaturen und zumeist geringe Salinität verzeichnet. Der Oberrheingraben ist durch seine heterogene Geologie mit Störungszonen und der höheren Wahrscheinlichkeit von seismischen Ereignissen schwerer erschließbar und verfügt über oftmals stark korrosive Thermalwasserzusammensetzungen, liefert aber andererseits mit hohen Temperaturen und hohen Fließraten gute Bedingungen für eine wirtschaftliche Nutzung der Geothermie.

Die Erhöhung der EEG-Einspeisevergütung für Strom aus Geothermie im Jahr 2004 führte ab 2005 zu einer starken Ausweitung der Aktivitäten in der tiefen Geothermie. Projekte zur geothermischen Stromerzeugung konzentrierten sich auf das Molassebecken im Raum München und den nördlichen Oberrheingraben. Ende 2006 existierten 80 Projekte der tiefen geothermischen Strom- und Wärmeproduktion, Ende 2007 bereits 150 Projekte in verschiedenen Bearbeitungsstufen.

An mehreren Standorten (Offenbach, Speyer, Unterhaching, Landau) begannen 2004 und 2005 Bohrarbeiten. Es folgten Bohrungen in Groß Schönebeck, Bellheim, Sauerlach, Dürrnhaar, Kirchstockach und Mauerstetten. Bisher wurden aber nur drei dieser Projekte – Landau (2007), Unterhaching (2008/09) und Bruchsal (2009) – bis zur Stromerzeugung entwickelt.

Im Zuge der Finanzkrise und der damit schwierig gewordenen Finanzierung sowie Akzeptanzproblemen aufgrund seismischer Ereignisse in Landau und Basel geriet die Entwicklung der Geothermie in den letzten Jahren ins Stocken.

Die Kosten der tiefen Geothermie variieren sehr stark von Projekt zu Projekt. Aussagen zu Durchschnittskosten sind statistisch noch nicht belastbar gesichert. Kostensenkungspotenziale werden insbesondere bei der Herstellung der produktionstauglichen Bohrungen und den Anlagen zur Förderung des Thermalwassers erwartet. Zusätzlich sind Aspekte des Strahlenschutzes zu beachten, die infolge des Gehaltes an natürlichen radioaktiven Stoffen im Fördermedium eine Rolle spielen.

Mittelfristig kann die Wärme- und Stromgewinnung aus der tiefen Geothermie gerade in einem System, das vorwiegend auf erneuerbaren Energien beruht, v. a. regional eine wichtige Rolle spielen, da die so gewonnene Nutzwärme oder der Strom im Gegensatz zu den fluktuierenden erneuerbaren Energien aus Wind und Sonne stetig zur Verfügung steht. Die Bundesregierung schätzt das Potenzial der Geothermie zur Stromerzeugung bis 2020 auf 1.654 GWh, ihr

Potenzial zur Gewinnung von Wärme und Kälte auf 696.000 t RÖE (Rohöleinheiten). Perspektivisch ist ihr Potenzial deutlich höher.

Ziele der Forschungsförderung

Entscheidend dafür, dass der Beitrag der Geothermie für die künftige Wärme- und Stromversorgung genutzt werden kann, ist es, in den nächsten Jahren weitere Projekte zu realisieren und damit auf der Basis praktischer Erfahrungen dringend benötigte Erkenntnisfortschritte zu erreichen. Neben einer Erhöhung der Vergütungssätze im EEG und möglichen finanztechnischen Lösungen zur Absicherung des Investitionsrisikos kann auch die Forschungsförderung dazu beitragen, dass diese erneuerbare Energiequelle wirtschaftlich erschlossen werden und zu einer nachhaltigen Energieversorgung beitragen kann.

Ziel der Forschungsförderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ist es, die kostengünstige Gewinnung und Nutzung von Wärme und Strom aus tiefen geothermischen Reservoiren fortzuentwickeln. Um die Geothermie verstärkt in den Markt zu bringen, steht insbesondere die Wärmegewinnung aus der Geothermie im Mittelpunkt der Forschungsförderung durch das Bundesumweltministerium. Mittelfristig ist dies die beste Möglichkeit, dieser erneuerbaren Energie, die unabhängig von Tages- und Jahreszeit Energie liefern kann, zum Durchbruch zu verhelfen und ihren Absatz auf dem deutschen Energiemarkt nennenswert zu steigern.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Schwerpunkt der Forschungsförderung im Bereich Geothermie stellt die spezifische Technologieentwicklung in diesem Sektor dar (Bohrtechnologie, Pumpenentwicklung, Erschließungstechniken, Messverfahren). Daneben stehen Projekte zur Verringerung des Fündigkeits- und Erfolgsrisikos im Rahmen der Exploration (neue Methoden, Modellierung, Katalog geothermischer Daten) und der Erhöhung der Akzeptanz (seismische Aktivitäten, Entsorgungsfragen) im Vordergrund.

4.3.1 Systemkomponenten und Explorationstechnologien

→ Die Bohrtechnologie ist mit etwa 80 % der Investitionskosten bei der Errichtung eines geothermischen Kraftwerks Kostenverursacher Nummer eins. Entscheidend ist daher die Weiterentwicklung der **Bohrtechnologie** mit dem Ziel, die Bohrkosten durch die Entwicklung neuer Technologien und die Weiterentwicklung von Verfahren und Methoden aus der Erdöl- und Erdgasexploration zu reduzieren.

→ Herkömmliche Pumpen, wie man sie aus der Kohlenwasserstoffexploration kennt, sind den spezifischen Anforderungen im geothermischen System, d. h. hohe Temperaturen, hohe Fließraten, starke Korrosion aufgrund der zum Teil sehr hohen Salzgehalte des Thermalwassers, nicht gewachsen. Konstruktionsbedingt sind der Anpassung der Technologie der Pumpen aus dem Erdölsektor Grenzen gesetzt. Notwendig sind daher die **Weiterentwicklung spezieller, für die Geothermie ausgelegter Pumpen**, aber auch neue Ansätze in der Auslegung (Durchmesser, Komplettierung usw.) von Bohrungen.

→ Weiterhin förderfähig durch das Bundesumweltministerium sind die Durchführung von **Stimulationsmaßnahmen**, mit denen Wegsamkeiten im Gestein geschaffen, erhalten oder durch beispielsweise die Anbindung an natürliche Störungszonen erweitert werden können (z. B. das Aufbrechen des Gesteins im Untergrund unter Aufbringen hohen Drucks mittels Injektion von Wasser u.Ä. nach dem Hot-Dry-Rock (HDR)-Verfahren, Säuerung sowie anderer Verfahren), sowie die Entwicklung gewässerverträglicher chemischer Zusatzstoffe bei Stimulationsmaßnahmen und

→ die Weiterentwicklung von Systemen zur **Stromerzeugung** in geothermischen Kraftwerken, also Organic-Rankine-Cycle (ORC)- und Kalina-Anlagen.

4.3.2 Daten zum Untergrund

Um das Fündigkeits- und Erfolgsrisiko sowie mögliche Schadensrisiken durch die Bohrung bewerten zu können, ist die kontinuierliche Fortsetzung der Sammlung und -Aufbereitung geologischer, geo- und petrophysikalischer, mineralogischer sowie mikrobiologischer **Daten** förderfähig, mit dem Ziel, einen möglichst umfassenden Katalog geothermischer Daten für ganz Deutschland zur Verfügung zu stellen.

4.3.3 Seismische Aktivität und Entsorgungsfragen

Das Bundesumweltministerium unterstützt ebenfalls Projekte, die

- zur Klärung des Zusammenhangs zwischen der Errichtung (Exploration) bzw. dem Betrieb geothermischer Anlagen und dem Aufkommen seismischer Aktivität beitragen,
- Lösungen zur Vermeidung, Immobilisierung und schließlich zur Entsorgung schwach- bis mittelradioaktiver Produkte aus dem Betrieb geothermischer Anlagen entwickeln,
- und die die Ergebnisse dieser Untersuchungen für die breitere Öffentlichkeit aufbereiten.

Ebenso förderfähig sind Projekte, die sich mit

- der Verminderung möglicher Beeinträchtigungen von Grundwassersystemen und
- den Wirkungen der geologisch begründeten natürlichen Radioaktivität der genutzten Medien

befassen.

Weitere Themen, die durch die Forschungsförderung des Bundesumweltministeriums unterstützt werden, sind:

- Vermeidung von Korrosion und Scaling,
- Monitoring geothermischer Anlagen und Anlagenteile wie Pumpen, Wärmetauscher usw., um den Betrieb von geothermischen Kraftwerken zur Wärme- und Stromproduktion zu optimieren,
- die Weiterentwicklung von mathematischen Modellen zur Modellierung und Simulation geothermischer Speicher und deren Betriebsverhalten,
- die Entwicklung von Methoden und Verfahren zur Verminderung des Fündigkeits- und Erfolgsrisikos im Rahmen der Exploration,
- die Entwicklung von Messverfahren und -geräten, die den geothermischen Anforderungen genügen,
- die Entwicklung von Geräten, Apparaten und Maschinen, die unter den geothermal typisch hohen Temperaturen, Drücken und korrosiven Rahmenbedingungen verlässlich und energieeffizient wartungsarm funktionieren, insbesondere Pumpen.

Die Netzintegration von geothermischen Anlagen wird im Forschungsschwerpunkt „Optimierung der Energieversorgungssysteme“ gefördert.

4.4 Niedertemperatur-Solarthermie

Bei der solarthermischen Erzeugung von Wärme wird Sonnenstrahlung mittels Solarkollektoren in Wärme umgewandelt und direkt oder über Zwischenspeicher zur Brauchwassererwärmung, zur Heizungsunterstützung, für solare Prozesswärme, zur Einspeisung in Nahwärmenetze oder zur Kälteerzeugung mittels thermisch angetriebener Kältemaschinen genutzt.

Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

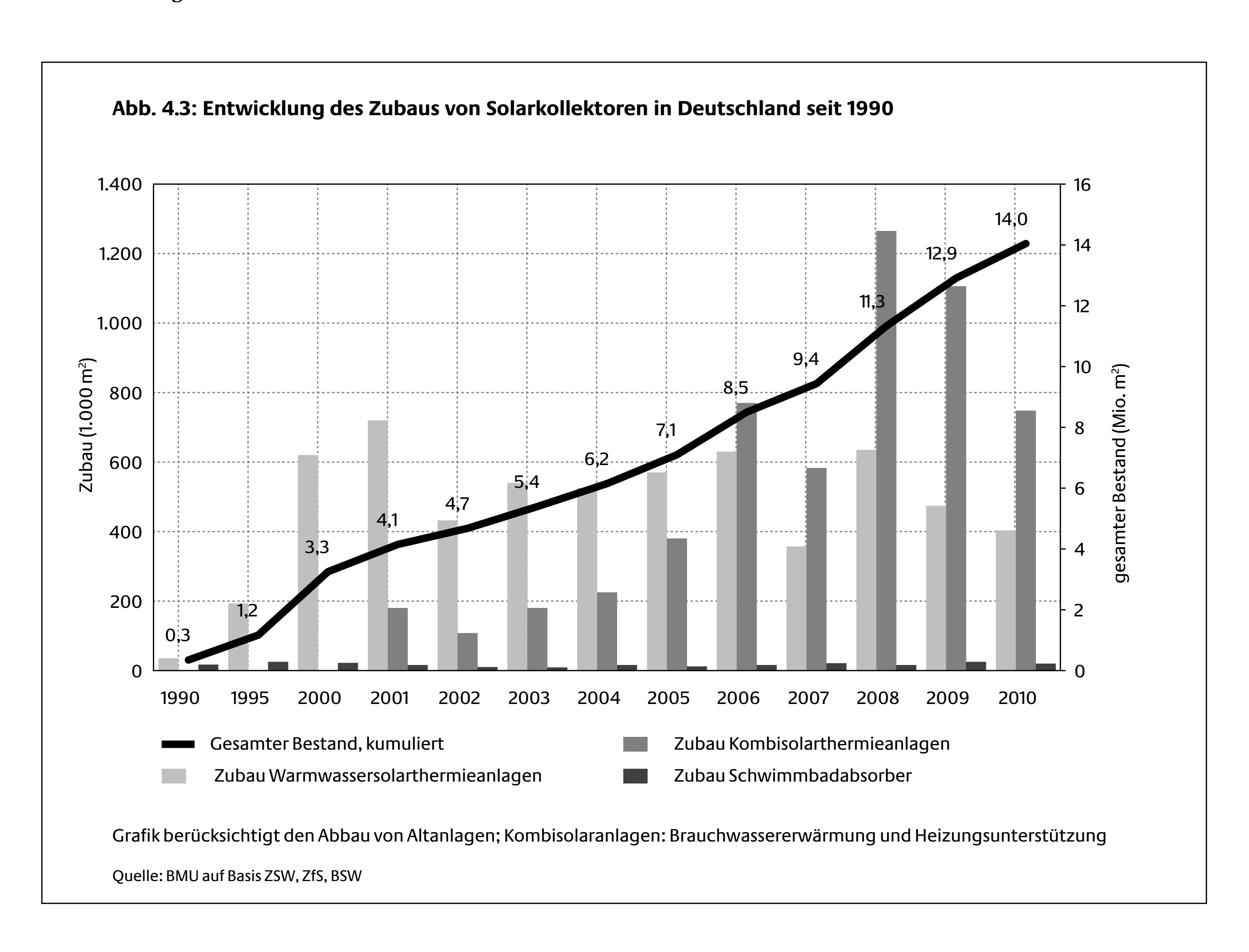
Über die Hälfte (ca. 54%) des Endenergieverbrauches in Deutschland wird heute zur Wärme- bzw. Kälteerzeugung eingesetzt. Solarthermie kann in Kombination mit anderen erneuerbaren Energiequellen, insbesondere Biomasse, langfristig einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige, versorgungssichere und umweltgerechte Wärme- und Kälteversorgung

leisten. Gegenwärtig beträgt ihr Anteil jedoch erst 0,4 % am Wärme-/Kälteverbrauch und ist zu über 90 % auf kleine Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern konzentriert. Die Technologieentwicklung für Großanlagen zum Einsatz in mehrgeschossigen Wohngebäuden und Wohnsiedlungen in Verbindung mit Langzeitwärmespeichern und Wärmenetzen wurde im Rahmen der bisherigen Forschungsförderung Solarthermie2000/ 2000plus geschaffen und vielfach demonstriert. Dabei werden gegenwärtig zu ca. 90 % Flachkollektoren und ca. 10 % Vakuumröhrenkollektoren für Schrägdachinstallation oder Flachdachaufständerung eingesetzt. Künftig müssen Solarkollektoren großflächig in Dächer und Fassaden integriert werden, um damit zunehmend auch bautechnische und architektonische Funktionen zu übernehmen.

Gleichzeitig kann mit den heute verfügbaren Effizienztechnologien im energieeffizienten Bauen der Wärmeenergiebedarf drastisch reduziert werden. Wenn Niedertemperatur-Solarthermie und Energieeffizienztechniken konsequent und aufeinander abgestimmt eingesetzt werden, sind Niedrigst- bzw. Null-Energie-Häuser und Solaraktivhäuser technisch und wirtschaftlich umsetzbar, die sehr gut wärmegedämmt und mit hocheffizienter Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung ausgestattet sind und bei denen der benötigte Restenergiebedarf vollständig durch erneuerbare Energien, insbesondere Solartechnik, abgedeckt wird. Während in 2010 bereits zwei von drei Häusern in Niedrigenergiebauweise errichtet wurden, sind Null-Energie-Gebäude bzw. Solaraktivhäuser bisher Gegenstand von Forschungs- und Demonstrationsvorhaben.

Unterstützt durch das Marktanreizprogramm der Bundesregierung konnte die installierte thermische Leistung auf ca. 10 GW im Jahr 2010 gesteigert werden. Der Markt wuchs in den letzten 10 Jahren sehr volatil mit starken Einbrüchen in 2009 und 2010 im Mittel um ca. 20 % auf etwa 1 Mrd. € Umsatz. Die

Abb. 4.3: Entwicklung des Zubaus von Solarkollektoren in Deutschland seit 1990



Grafik berücksichtigt den Abbau von Altanlagen; Kombisolaranlagen: Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung

Quelle: BMU auf Basis ZSW, ZfS, BSW

solaren Wärmegestehungskosten konnten in den letzten 15 Jahren je nach System auf 0,10 bis 0,20 €/kWh halbiert werden. Die Deutsche Solarthermie-Technologie-Plattform DSTTP erachtet es für möglich, diese bis 2020 nochmals zu halbieren und damit kostengünstiger als fossile Brennstoffe zu werden.

Entscheidend für die Realisierung dieses Potenzials wird es sein, in Zukunft die Einsatzfelder und die Nutzung der Niedertemperatur-Solarthermie verstärkt auf größere Anlagen für Mehrfamilienhäuser sowie im gewerblichen Bereich auszudehnen. Gleichzeitig muss der Fokus vermehrt auf den Einsatz in der energetischen Bestandssanierung, den Einsatz von größeren Kollektorfeldern in Verbindung mit Wärmenetzen oder Quartierslösungen gelegt werden.

Ziele der Forschungsförderung

Ziel der Forschungsförderung im Bereich Niedertemperatur-Solarthermie durch das BMU ist es, durch weitere Kostensenkung und Effizienzsteigerung bei Kollektoren, Speichern und dem Gesamtsystem den Einsatz von Niedertemperatur-Solarthermie signifikant auszuweiten sowie die Niedertemperatur-Solarthermie besser in konventionelle Wärmeversorgungssysteme zu integrieren bzw. mit energieeffizientem Bauen zu verbinden.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Schwerpunkte der ressortspezifischen Forschungsförderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sind die Weiterentwicklung der Kollektortechnik, insbesondere die Rationalisierung und Automatisierung der Kollektorfertigung, die Weiterentwicklung der Systemtechnik und die Integration solarer Wärmeerzeugung in den Gebäudebereich, insbesondere die Solarisierung von Wärmenetzen, die Erschließung neuer Anwendungsgebiete wie solare Kühlung und solare Prozesswärme sowie die Weiterentwicklung thermischer Speichertechniken.

Insbesondere bei den Punkten Integration in den Gebäudebereich und Speichertechniken greifen die Forschungsförderungen des BMWi und des BMU ressortspezifisch ineinander und sind nach dem Schwerpunktprinzip aufeinander abgestimmt. Um an dieser Stelle Synergien zwischen der Technologieentwicklung und deren Integration in größere, energieeffiziente Systeme zu nutzen, plant die Bundesregierung eine ressortübergreifende, gemeinsame Forschungsinitiative „Solares Bauen – Energieeffiziente Stadt“.

4.4.1 Kollektortechniken

Nach Schätzungen der DSTTP werden etwa 25 bis 30 % der Kosten für ein übliches Solarsystem heute vom Kollektorfeld verursacht. Es wird davon ausgegangen, dass durch Innovationsanstrengungen, vor allem durch Einsatz neuer Materialien für den Absorber und neuartige, Kollektorkonstruktionen und durch den Ausbau industrieller Massenfertigung sich die Kollektorkosten bis 2030 um 50 % reduzieren lassen.

Gefördert werden u. a.

→ die Anwendung neuer Materialien, insbesondere Kunststoffe in Verbindung mit neuartigen Konstruktionen und neue Kupfer- und Aluminiumlegierungen für extrem dünnwandige Absorber,

→ die weitere Effizienzsteigerung und Reduzierung der Wärmeverluste durch selektive Glas- und Absorberbeschichtungen und Vakuumtechnologien,

→ die Entwicklung von Methoden zur Temperaturbegrenzung bei Stagnation und zur Verbesserung der Frostsicherheit durch intelligente Regelungssysteme und schaltbare Schichten,

→ neue Konstruktionsprinzipien von Kollektoren zur Wirkungsgradsteigerung in Abhängigkeit von der Betriebs- bzw. Einsatztemperatur, wie z. B. Spiegel- oder Hybridsysteme (CPC/Compound Parabolic Concentrator),

→ die Rationalisierung und Automatisierung der Kollektorfertigung.

4.4.2 Systemtechnik/Niedertemperatur-Solarthermie im Gebäudebereich

Die Forschungsförderung des BMU in diesem Themengebiet ist komplementär zu Fördergebieten mit

Schwerpunkt im energieoptimierten Bauen und der energieeffizienten Kälte- und Wärmeversorgung (siehe auch Abschnitt 3.1.1 und 3.1.2) und verfolgt gemäß dem Schwerpunktprinzip insbesondere folgende Themen:

- → die Entwicklung neuer Systemkonzepte und regelungstechnischer Lösungen für solare Deckungsanteile am Heizenergiebedarf bis zu 100 Prozent, auch in Kombination mit innovativen Nachheizsystemen und der Integration von großen Speichern,
- → die Entwicklung geeigneter Tools zur EnEV/EEWärmeG-kompatiblen Planung und Bewertung von Gebäuden mit solaren Deckungsanteilen von 50–100 % und Demonstration und Monitoring derartiger Systemkonzepte,
- → die Solarisierung von Wärmenetzen mit Einkopplung von Solarwärme – in Verbindung mit Wärme aus regenerativer Kraft-Wärme-Kopplung – durch Entwicklung geeigneter Konzepte zur Wärmeeinspeisung und Netzoptimierung sowie Einbindung saisonaler Wärmespeicher und ggf. Wärmepumpen.

Die Integration der solaren Komponenten und der Komponenten der Energieeffizienztechniken im Gebäudebereich ist entscheidend, um die Potenziale der Niedertemperatur-Solarthermie zu heben. Daher ist zum Thema „Solares Bauen – Energieeffiziente Stadt“ eine ressortübergreifende gemeinsame Förderinitiative geplant (vgl. Kapitel 2).

4.4.3 Solare Kühlung und solare Prozesswärme

Solarwärme im Temperaturbereich zwischen 90 °C und 250 °C hat ein hohes Potenzial, um Kältemaschinen solarthermisch anzutreiben und um Prozesswärme oder -kälte für industrielle/gewerbliche Prozesse bereitzustellen. Beide Anwendungsfelder sind von zunehmendem Interesse, um Solarthermie künftig verstärkt im gewerblichen Bereich zu nutzen. Die solare Kühlung hat darüber hinaus ein wachsendes Exportpotenzial in südliche Länder.

Gefördert werden daher:

a) Im Bereich der Solaren Kühlung insbesondere

- → Untersuchungen zum Einsatz neuer Materialien für solarthermisch angetriebene Adsorptions- und Absorptionskälteprozesse sowie damit verbundene Wärmeübertragungs- und Stofftransportsysteme,
- → die Entwicklung von effizienten Rückkühlwerken,
- → die Standardisierung der Systemtechnik und die Entwicklung geeigneter Planungs- und Monitoringinstrumente,
- → Feldtests und Monitoring zur Erprobung der Systeme.

b) Im Bereich der Prozesswärme insbesondere:

- → die Entwicklung von standardisierten Lösungen für aussichtsreiche Branchen (u. a. für Reinigungs- und Trocknungsprozesse),
- → die Entwicklung von hydraulischen und systemtechnischen Konzepten zur Einspeisung von Solarwärme in die Industrieprozesse auch unter Berücksichtigung vorhandener industrieller Abwärmepotenziale,
- → die Entwicklung von Auslegungs- und Simulationstools zur integralen Planung und Bewertung sowie Betriebsüberwachung, Steuerung/Regelung und Monitoring von Prozessen mit Solarwärmeeinbindung.

c) Im Bereich der übergreifenden Qualitätssicherung insbesondere:

- → die Entwicklung geeigneter Verfahren und Methoden zur Qualitäts- und Ertragssicherung, zur Erhöhung der Betriebssicherheit und zur Betriebsoptimierung und zur ganzheitlichen energetischen und ökologischen Bewertung von solaren Systemen (Planungs-, Simulations- und Optimierungswerkzeuge).

4.4.4 Wärmespeicherung

Eine weitgehend solare Beheizung von Gebäuden setzt voraus, dass das Gebäude einen geringen Heizbedarf aufweist und dass die im Sommer gewonnene Solarwärme für Zeiten mit Heizbedarf gespeichert wird. Die Wärmespeicherung hat daher eine Schlüsselfunktion für einen hohen Anteil von Solarthermie an der Wärmeversorgung, um eine zeitlich vom Solarstrahlungsangebot entkoppelte und prozessangepasste Nutzung der Solarwärme und anderer Wärmequellen zu ermöglichen. Wärmespeicher sind auch ein Element des Gesamtsystems „Energieoptimiertes Gebäude“ und als solches Gegenstand entsprechender Fördergebiete (s. Abschnitte 3.1.1 und 3.2.2). Die daraus entstehenden Synergien werden im Rahmen der gemeinsamen, ressortübergreifenden Förderinitiative „Energiespeicher“ sinnvoll genutzt (s. Abschnitt 2). Das BMU fördert thermische Speicher in Verbindung mit der solaren Energieversorgung gemäß dem Schwerpunktprinzip in der Projektförderung zu folgenden Themen:

- die Entwicklung thermischer Speichertechniken mit gegenüber Wasser deutlich höheren spezifischen Speicherkapazitäten,
- die Entwicklung von solaren Warmwasserspeichern mit wesentlich verbesserter Wärmedämmung zur Reduzierung der Wärmeverluste insbesondere für Langzeitwärmespeicher,
- neue Konstruktionsprinzipien und neue Konzepte für kostengünstige Behältermaterialien und effiziente Be- und Entladetechnik,
- intelligente Speicherlösungen zur baulichen Integration in bestehende Gebäude oder in den Untergrund bei „solaren Bestandssanierungen“ sowie die Integration in die solaren Wärmeverteilsysteme,
- die Weiterentwicklung der Speicherung bei verschiedenen Temperaturniveaus von unter 0 °C für Kältespeicher und bis ca. 250 °C für Prozesswärmespeicher.

4.5 Solarthermische Kraftwerke

In solarthermischen Kraftwerken wird die Sonnenstrahlung zur Stromerzeugung in einem ansonsten konventionellen Kraftwerksprozess genutzt. Spiegel konzentrieren das Sonnenlicht auf einen Strahlungsempfänger und erhitzen ein Wärmeträgermedium. Die Energie des Wärmeträgermediums wird dann mittels Turbinen und Generatoren in Strom umgewandelt. In trockenen und heißen Zonen mit einem hohen Anteil an direkter Strahlung sind solarthermische Kraftwerke eine effiziente Technik, um Sonnenenergie in Elektrizität umzuwandeln. In Verbindung mit Wärmespeichern oder mit fossiler Zusatzfeuerung (Hybridisierung) ermöglichen sie eine Stromerzeugung nach Bedarf, tragen zur Lastabsicherung in Stromnetzen bei und ermöglichen so auch hohe Einspeisungen anderer fluktuierender Strommengen aus erneuerbaren Energien in die Stromnetze. Solarthermische Kraftwerke haben daher das Potenzial, in Zukunft einen wichtigen Anteil an der weltweiten Energieversorgung zu erreichen.

Energiewirtschaftliche Ausgangslage und Technologieentwicklung

Ende 2010 waren weltweit solarthermische Kraftwerke mit einer Kapazität von ca. 1 GW in Betrieb. Über 600 MW befinden sich in Spanien im Bau. 1.300 MW sind entsprechend dem spanischen Einspeisegesetz bis 2013 vorregistriert. Mehrere Staaten im Mittelmeerraum sowie im Mittleren und Nahen Osten (MENA-Region) entwickeln Strategien und Programme zur Nutzung der hohen Sonneneinstrahlung mit dem Ziel, den Anteil der erneuerbaren Energien am Energiemix zu erhöhen. Die EU und die Mittelmeeranrainer arbeiten im Rahmen des *„Mediterranean Solar Plan“* der Union für das Mittelmeer an den erforderlichen Voraussetzungen für einen Solarstromimport aus der MENA-Region. Der Südwesten der USA hat ebenfalls ein großes Potenzial für solarthermische Kraftwerke. In Deutschland untersucht auch die Desertec Industrial Initiative (DII), an der namhafte deutsche Unternehmen beteiligt sind, die Möglichkeiten der Versorgung Europas mit Strom aus Sonnenkraftwerken in Nordafrika.

Ziele der Forschungsförderung

Aufgrund seiner geografischen Situation ist Deutschland als Standort für solarthermische Kraftwerke nicht geeignet. Der hohe Anteil von diffusem Sonnenlicht, eine durchschnittliche Sonnenscheindauer je nach Ort zwischen 1.300 und 1.900 Stunden und häufige Wolkendurchgänge lassen einen kontinuierlichen Kraftwerksprozess und eine wirtschaftliche Stromerzeugung nicht zu.

Der Import von Solarstrom aus Ländern Nordafrikas kann aber perspektivisch einen wesentlichen Beitrag auch für die Energieversorgung in Europa leisten und ein Baustein für künftige, bedarfsgerechte Energieversorgung durch erneuerbare Energien auch in Deutschland sein. Darüber hinaus hat die Technologie für solarthermische Kraftwerke ein hohes Exportpotenzial. Deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen sind heute auf dem Gebiet der solarthermischen Stromerzeugung technologisch weltweit führend. Auf der Basis langjähriger Forschungsergebnisse werden Kraftwerke geplant und ausgelegt sowie System- und Standortanalysen erstellt. In Deutschland entwickelte Schlüsselkomponenten der solarthermischen Stromerzeugung erzielen heute hohe Lieferanteile in solarthermischen Kraftwerksprojekten.

Das Bundesumweltministerium fördert daher Maßnahmen, die zu einer weiteren signifikanten Reduzierung der spezifischen Investitionskosten und damit der Stromgestehungskosten führen. Weiter ist auch der Aufwand für Anlagenbetrieb und -wartung zu minimieren. Von besonderem Interesse sind industriegeführte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Mit Blick auf die drei Haupttechnologielinien

- Parabolrinnenanlagen,
- Fresnel-Anlagen und
- Turmkraftwerke

sollen durch die Forschungsförderung Kostensenkungen durch Änderungen am Kollektordesign, Verbesserungen beim Aufbau des Kraftwerks sowie durch Optimierung und Automatisierung von Betrieb und Wartung induziert werden. Insbesondere können höhere Betriebstemperaturen durch eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades zu einer Senkung der Stromgestehungskosten beitragen. Dazu werden technologiespezifische Ansätze gefördert, z. B. alternative Wärmeträgermedien für Parabolrinnenanlagen, um das bisher eingesetzte Thermoöl zu ersetzen, oder Receiver für Turmkraftwerke, die Betriebstemperaturen von bis zu 1.000 °C erlauben und, z. B. auch in Verbindung mit einer Gasturbine, Kraftwerksprozesse von hoher Effizienz ermöglichen.

4.5.1 Parabolrinnenanlagen

Von den kommerziell betriebenen solarthermischen Kraftwerken sind mehr als 95 % Parabolrinnenanlagen. Trotz der maximalen Arbeitstemperatur des bisher verwendeten Wärmeträgermediums Thermoöl von 390 °C und der dadurch begrenzten Frischdampftemperatur von 370 °C hat sich dieser Kraftwerkstyp bewährt und kommt mit verbesserten Komponenten und in verschiedenen Varianten überwiegend zum Einsatz. Die Stromgestehungskosten liegen an allen Standorten noch deutlich über 20 ct/kWh. Das Bundesumweltministerium fördert daher v. a. Projekte, die zu weiteren Kostensenkungen beitragen

- durch Änderungen am Kollektordesign, Verbesserungen beim Aufbau des Kraftwerks sowie durch Optimierung und Automatisierung von Betrieb und Wartung,
- durch die Ermöglichung höherer Betriebstemperaturen und damit einer Steigerung des Gesamtwirkungsgrades. Als alternative Wärmeträgermedien werden derzeit Wasser/Dampf und Flüssigsalz untersucht, um das bisher ausschließlich eingesetzte Thermoöl zu ersetzen.

4.5.2 Fresnel-Anlagen

Eine Variante der Parabolrinnentechnik sind Fresnel-Anlagen, die heute weltweit mit einer Gesamtleistung von ca. 10 MW in Betrieb und weitere 30 MW in

Bau sind. Beim Fresnel-Kollektor sind die Fertigungskosten gegenüber der Parabolrinne geringer. Ein deutlicher Unterschied besteht in der Art und Weise der geringeren Konzentration der Sonnenstrahlung, was beim Fresnel-Kollektor zu stärkeren optischen Verlusten und damit zu einer geringeren Effizienz führt. Als Wärmeträgermedium kommt Wasser/Dampf zum Einsatz. Heutige Fresnel-Kraftwerke produzieren Nassdampf von ca. 280 °C. Gefördert werden insbesondere Projekte, die zu einer Realisierung der erwarteten Möglichkeiten bei Frischdampf-Parametern von 450 °C und 70 bar beitragen.

4.5.3 Solare Turmkraftwerke

Hohe Betriebstemperaturen bis zu 1.000 °C können von solaren Turmkraftwerken erreicht werden. In Verbindung mit einer geeigneten Gasturbine sind daher solarthermische Kraftwerksprozesse von hoher Effizienz möglich. Das Bundesumweltministerium fördert insbesondere Projekte, die das Kraftwerkskonzept mit volumetrischem Luftreceiver weiterentwickeln und die für ein Turmkraftwerk notwendigen Komponenten weiterentwickeln und testen. Mit dem Versuchskraftwerk Jülich verfügt Deutschland hierfür über die notwendigen technischen Voraussetzungen.

4.5.4 Integrierte Speicher

Ein großer Vorteil solarthermischer Kraftwerke ist die Möglichkeit, Speicher in das Kraftwerk zu integrieren. Die Zwischenspeicherung von Energie ermöglicht eine bedarfsgerechte Stromerzeugung unabhängig von der Verfügbarkeit von Wind oder Sonneneinstrahlung. Solarthermische Kraftwerke können Wärme speichern, was auf absehbare Zeit kostengünstiger sein wird als die Speicherung von Elektrizität. Arbeiten zur solarthermischen Stromerzeugung sind daher eng verknüpft mit der Arbeit zu thermischen Speichern. Stand der Technik sind Salzspeicher, wie sie in den Andasol-Kraftwerken in Spanien eingesetzt werden. Betonspeicher für Temperaturen bis 400 °C wurden in den vergangenen Jahren entwickelt. Das BMU fördert insbesondere die Entwicklung kostengünstiger thermischer Speicher für höhere Temperaturen, die an den jeweiligen Kraftwerksprozess und das Wärmeträgermedium angepasst sind.

Übergreifende Fragestellungen

Gefördert werden darüber hinaus

- → die Entwicklung von Mess- und Qualifizierungsmethoden einschl. der Entwicklung von Standards und Normen für eine Absicherung der Entwicklung,
- → die Entwicklung von Wartungskonzepten, die für einen effizienten, kostengünstigen Anlagenbetrieb wesentlich sind
- → sowie die Anpassung von konventionellen Kraftwerkskomponenten an die Betriebsweise solarthermischer Kraftwerke.

In diesem Zusammenhang flankiert die Forschungsförderung des BMU auch die Untersuchung von Fragen des Hybridbetriebs solarthermischer Kraftwerke, d. h. die Ermöglichung einer kontinuierlichen Stromerzeugung durch Zufeuerung aus fossilen oder erneuerbaren Energieträgern.

4.6 Wasserkraft und Meeresenergie

Die **Wasserkraft** ist für die Stromversorgung neben der Windenergienutzung eine bewährte regenerative Energiequelle in Deutschland. Die Wasserkraft hat im Jahr 2009 über 20 % des Stroms der erneuerbaren Energien erzeugt. Insbesondere im Grundlastbereich nimmt die Wasserkraftnutzung im Energiemix eine wichtige Rolle ein. Ein Vorteil dieser Energiequellen gegenüber der regenerativen Energienutzung aus Wind und Sonne besteht in der zeitlich recht konstanten Bereitstellung von Energie.

Die Technik der Wasserkraftanlagen ist weitgehend ausgereift.

Technische Neuerungen bei Turbinen und der Generatorenanordnung verbessern insbesondere den Wirkungsgrad. Die ökologischen Anforderungen an die Wasserkraftnutzung steigen. So sind Wasserkraftanlagenbetreiber mittlerweile verpflichtet, geeignete Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation zu ergreifen und die auf- und abwärts gerichtete Durchgängigkeit zu gewährleisten, auch wenn

hierfür nicht immer ein entsprechender Stand des Wissens oder der Technik besteht. Im Vordergrund der Forschungsförderung durch das Bundesumweltministerium für die Wasserkraft steht deshalb auch weiterhin die umwelt- und naturverträglichere Gestaltung von Wasserkraftanlagen zur ökologischen Optimierung von Wasserkraftanlagen und zur Verringerung der Auswirkungen auf Fische und auf sensible Auenbereiche.

Im Gegensatz zur konventionellen Wasserkraftnutzung auf dem Festland befindet sich die Nutzung der **Meeresenergie** weltweit noch in einem Demonstrationsstadium, obwohl das globale Potenzial, aus Gezeiten-, Strömungs- und Wellenkraftwerken Energie zu gewinnen, hoch ist. Sowohl der Tidenhub (das periodische Fallen und Steigen des Meeresspiegels) als auch der Energiegehalt in Strömung und Wellen können für die elektrische Energiegewinnung genutzt werden. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten, der geringen Wellenhöhe und des geringen Tidenhubs ist die Gewinnung von Energie aus Wellen und Meeresströmung in der deutschen Nord- und Ostsee wirtschaftlich nicht vielversprechend. Die Zukunft solcher Anlagen liegt insbesondere in Regionen mit einem relativ konstanten, starken Strömungsmuster und Wellenklima. Als geeignete Standorte in Europa gelten die Küsten Großbritanniens, Irlands, Norwegens, Spaniens, Frankreichs und Portugals. Für die deutsche Industrie besteht jedoch die Chance auf wachsende Exportmärkte in diesem Bereich. Das Bundesumweltministerium fördert daher in angemessenem Umfang Forschungsprojekte mit den Schwerpunkten der Entwicklung und Demonstration von Meeresströmungsturbinen und Wellenenergiekonvertern. Ein besonderer Schwerpunkt wird auf die ökologische Eignung der Technologien gelegt.

4.7 Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Der Übergang in das Zeitalter der erneuerbaren Energien verlangt eine tief greifende Modernisierung der Energieversorgungssysteme. Das bestehende Energieversorgungssystem ist nur eingeschränkt in der Lage, die künftigen Anforderungen einer modernen, auf erneuerbaren Energien basierenden und zugleich umwelt- und naturverträglich ausgerichteten Energieversorgung zu erfüllen. Das Zeitfenster für eine Modernisierung ist darüber hinaus günstig, da das bestehende Stromsystem aufgrund der Altersstruktur der Netze und des Kraftwerkparks in den kommenden Jahren modernisiert werden muss.

Im Jahr 2020 werden wahrscheinlich allein Windenergie- und Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtnennleistung von etwa 98 GW in Deutschland installiert sein (Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie v. 4.8.2010). Die Stromnachfrage in Deutschland schwankt derzeit im Laufe eines Jahres aber nur in einem Bereich von 40 bis 80 GW. Wind und Photovoltaik werden zukünftig also immer häufiger den aktuellen Strombedarf vollständig alleine abdecken bzw. sogar mehr als den Bedarf produzieren.

Das künftige Energieversorgungssystem muss auf den wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien ausgelegt sein. Es ist daher entscheidend, die regenerative Stromerzeugung und den Verbrauch optimal aufeinander abzustimmen. Einerseits muss sich die regenerative Stromerzeugung besser an der Nachfrage orientieren. Andererseits muss auch die Nachfrageseite flexibler werden, z. B. durch Lastmanagement. Die Speicherung erneuerbarer Energie und die Weiterentwicklung von Netztechnologien für hohe Anteile erneuerbar produzierten Stroms wird eine wichtige Rolle spielen. Außerdem müssen die erneuerbaren Energien zunehmend auch Systemdienstleistungen erbringen, die bisher mehrheitlich von fossilen Kraftwerken erbracht werden.

Aufgrund der Zunahme an dezentralen regenerativen Energieanlagen im Verteilnetz wandelt sich das bisherige unidirektionale Energiesystem hin zu einem Energiesystem mit bidirektionalen Leistungsflüssen. So kann es in den Verteilnetzen zunehmend vorkommen, dass mehr Energie zu einem Zeitpunkt eingespeist als verbraucht wird. Die bisher reinen Verteilnetze werden somit zeitweise zu Einspeisenetzen in höhere Netzebenen. Darauf sind die Verteilnetze heute in der Regel nicht eingestellt. Damit

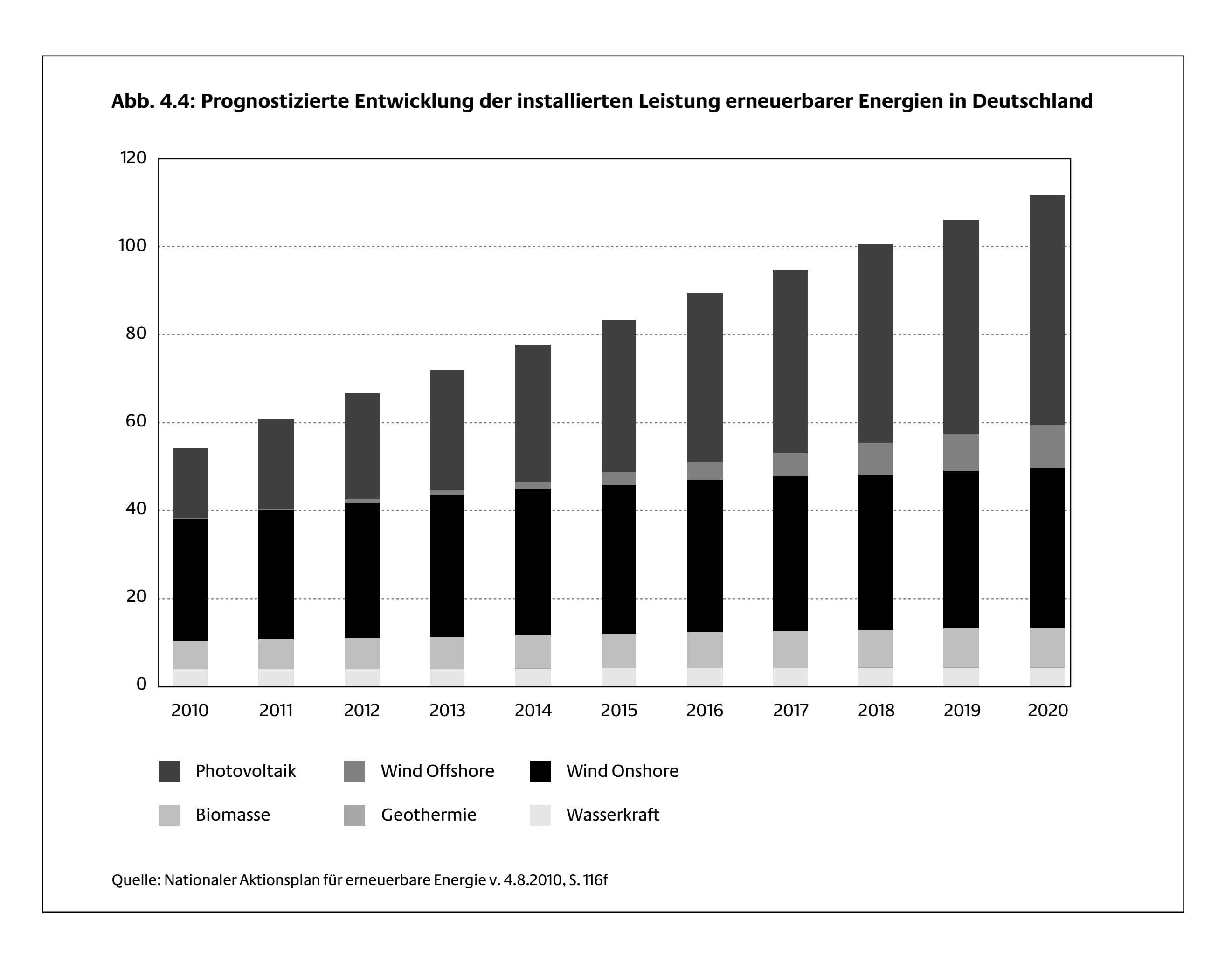
die Versorgungsqualität weiterhin sichergestellt ist, müssen die heute noch passiven Verteilnetze zu flexiblen und aktiven Netzen weiterentwickelt werden.

Die Stromerzeugung der Zukunft ist in technischer, ökonomischer und rechtlich-administrativer Hinsicht für einen hohen Anteil erneuerbarer Energien auszulegen. Dies setzt ein intelligentes Zusammenspiel insbesondere zwischen regenerativer Stromerzeugung und Verbrauch unter Einbeziehung von Energiespeichern und moderner Netztechnik voraus. Das Netz muss im Hinblick auf einen Hauptanteil erneuerbarer Energien zu einem intelligenten Netz *(„smart grid“)* weiterentwickelt werden. Technologische Fortschritte sind hier dringend erforderlich.

Somit ist der Förderschwerpunkt „Integration Erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“ ein wichtiger Beitrag zur Umsetzung des Energiekonzepts der Bundesregierung (s. auch Abschnitt 1.1). Das Energiekonzept sieht für das 6. Energieforschungsprogramm eine Schwerpunktsetzung auch auf Energiespeichertechnologien und Netztechnik, auf die Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung und auf das Zusammenwirken der Energietechnologien vor.

Die Optimierung der Energieversorgung – insbesondere der Stromversorgung – ist von übergeordneter strategischer Bedeutung und stellt eine zentrale Aufgabe der Bundesregierung dar. Die mit dieser Aufgabe verbundenen FuE-Fragestellungen weisen eine hohe Komplexität auf, die die Zuständigkeiten der am Energieforschungsprogramm beteiligten Ministerien überschreitet. Insbesondere zu den genannten Themen Energiespeicher und Netztechnologien sind ressortübergreifende Kooperationen das geeignete Instrument, um die besonderen Herausforderungen auf diesen Gebieten zu bewältigen (s. Kapitel 2).

Abb. 4.4: Prognostizierte Entwicklung der installierten Leistung erneuerbarer Energien in Deutschland



Quelle: Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie v. 4.8.2010, S. 116f

Da die drei Ressorts BMWi, BMU und BMBF in diesen Bereichen Forschung und Entwicklung mit unterschiedlichen Schwerpunkten fördern, werden auf diese Weise Synergien optimal ausgenutzt. Dadurch leisten sie aktiv einen Beitrag für den Weg in eine hocheffiziente und überwiegend auf erneuerbaren Energieträgern basierende Energieversorgung.

Ziele der Forschungsförderung

Die Forschungsförderung im Bereich „Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“ zielt vor diesem Hintergrund darauf ab, zu einem innovativen, zukunftsfähigen Energiesystem mit einem Hauptanteil erneuerbarer Energien beizutragen. Dafür muss die Integration der Erneuerbaren Energien optimiert und das Gesamtsystem an die Anforderungen eines regenerativen Energiesystems angepasst werden. Dabei sind Kostensenkungen stets ein wichtiger integraler Aspekt.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Schwerpunkte der Forschungsförderung im Bereich „Integration erneuerbarer Energien und regenerative Energieversorgungssysteme“ sind regenerative Kombikraftwerke bzw. virtuelle Kraftwerke, „intelligente“ und auf hohe Anteile fluktuierender Einspeisung erneuerbarer Energien ausgelegte Netze (geeignete Netztechnologien, Netzbetrieb, Lastmanagement), Speichertechnologien zum Ausgleich kurzfristiger Fluktuationen bis hin zur Langzeitspeicherung für saisonale Schwankungen erneuerbarer Energien, Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien sowie die Weiterentwicklung von Prognosewerkzeugen für fluktuierende Einspeiser. Im Folgenden werden die Förderschwerpunkte näher umschrieben.

4.7.1 Regenerative Kombikraftwerke – virtuelle Kraftwerke

Kombikraftwerke oder virtuelle Kraftwerke bieten als Zusammenschlüsse von regenerativen Erzeugungsanlagen mit Speichern und/oder Lastmanagement eine Möglichkeit zur bedarfsgerechten Einspeisung erneuerbarer Energien. Dadurch wird auch eine Direktvermarktung des regenerativ erzeugten Stroms erleichtert. Fluktuierende erneuerbare Energien können dafür mit regelbaren Erzeugungsanlagen, Energiespeichern und Anlagen und Geräten gekoppelt werden, deren Stromverbrauch beeinflussbar ist. Förderschwerpunkte sind:

- → die Entwicklung und Optimierung von Regelungskonzepten, Informations- und Kommunikationsstrukturen und deren Standards,
- → die Einbindung stromgeführter KWK-Anlagen zur besseren Integration erneuerbarer Energien,
- → Last-/Erzeugungsprognosen für Kombikraftwerke sowie
- → Systemdienstleistungen durch Kombikraftwerke.

4.7.2 Intelligente Netze – Lastmanagement

Bei einem „intelligenten Netz“ oder „smart grid“ werden Stromerzeuger, -verbraucher und Netzbetriebsmittel durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) intelligent miteinander verknüpft, um das Gesamtsystem optimal zu steuern. Das Ziel ist ein dezentraler Ausgleich von Fluktuationen erneuerbarer Energien. Intelligente Netze ermöglichen neue Energiemärkte und neue Formen von Energiedienstleistungen und -produkten für die Integration erneuerbarer Energien. Dadurch können auch Privatverbraucher und Erzeuger (beispielsweise PV-Anlagenbetreiber) aktiv an den Energiemärkten teilnehmen. Förderschwerpunkte sind daher:

- → die Entwicklung intelligenter Steuerungsgeräte und Zähler für das Zusammenspiel von Verbrauch und regenerativer Erzeugung innerhalb des Hauses und mit dem Netz,
- → die Etablierung dezentraler intelligenter Subsysteme zum Management des Netzbetriebs bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien,
- → innovative Verfahren, Geräte und Konzepte, um das Potenzial des Lastmanagements zur Integration erneuerbarer Energien sowohl im industriellen als auch im privaten Bereich weiter zu erschließen.

Ergänzend werden Fragestellungen zur Einbindung von erneuerbaren Energien in Fernwärme- und Gasnetze betrachtet.

4.7.3 Netztechnologien

Durch die Änderung der Erzeugungsstruktur hin zu einem regenerativen Energiesystem besteht ein Bedarf zur Weiterentwicklung der Netzinfrastruktur und zur Entwicklung eines auf die Eigenschaften der erneuerbaren Energien angepassten Netzbetriebs. Förderschwerpunkte im Bereich der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung sind daher Projekte in folgenden Bereichen:

→ Modifizierung bestehender Netzbetriebsmittel, wie Transformatorstationen im Verteilnetz, um flexibel und aktiv auf verschiedene Leistungsflüsse reagieren und damit zur Verbesserung der Versorgungsqualität beitragen zu können,

→ Weiterentwicklung der Netzanschlussregeln und des Netzbetriebs für die Erfordernisse eines regenerativen Energiesystems,

→ Entwicklung neuer Konzepte zum Netzschutz (adaptive Schutzsysteme) und zur Netzsicherheit in einem Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien,

→ verbesserte Zustandserkennung der Netze und die Entwicklung dazu notwendiger Messtechnik für die optimale Ausnutzung der vorhandenen Netzkapazitäten vor dem Hintergrund hoher Anteile erneuerbarer Energien,

→ Betriebsführung von Verteilnetzen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien auf Basis von Echtzeitdaten,

→ innovative Stromübertragungstechnologien für den Anschluss erneuerbarer Energieanlagen (z. B. Hochspannungsgleichstromübertragungsnetze für Offshore-Windparks),

→ Entwicklung von Netzsimulationsmodellen und Planungsinstrumenten für eine ganzheitliche Netzplanung regenerativer Energiesysteme.

Aufgrund der zentralen Bedeutung der Netze für das regenerative Energiesystem der Zukunft ist zur Erfassung der gesamten Wertschöpfungskette eine von den beteiligten Ressorts gemeinsam formulierte Förderinitiative „Netze“ vorgesehen (siehe Kapitel 2).

4.7.4 Speichertechnologien

Energiespeicher sind ein elementarer Bestandteil eines regenerativen Energiesystems. Da die fluktuierenden erneuerbaren Energien (Wind, Photovoltaik) den Hauptanteil der zukünftigen Energieversorgung übernehmen werden, besteht Bedarf an Speichertechnologien mit unterschiedlichen Anforderungen; angefangen vom Ausgleich kurzfristiger Fluktuationen bis hin zur Langzeitspeicherung saisonaler Schwankungen von erneuerbaren Energien. Beispielhaft werden Förderschwerpunkte für Forschung, Entwicklung und Demonstration in diesem Bereich genannt. Diese können auch über die ressortübergreifende Förderinitiative „Energiespeicher“ (siehe Kapitel 2) gefördert werden:

→ Weiterentwicklung von Speichertechnologien und Anpassung an fluktuierende Einspeisung erneuerbarer Energien im kurz- und mittelfristigen Zeitbereich (z. B. RedoxFlow-Batterien),

→ Weiterentwicklung und Anpassung von Speichertechnologien zur Erhöhung des Eigenverbrauchs von PV-Strom und zur Netzentlastung (z. B. Li-Ionen-Batterien),

→ Langzeitspeicherung erneuerbarer Energien, beispielsweise durch Umwandlung von fluktuierender Einspeisung in Wasserstoff bzw. Methan und dessen Speicherung (z. B. im bestehenden Gasnetz),

→ Entwicklung von flexiblen Elektrolyseuren für schnelle Lastschwankungen bei fluktuierenden Einspeisungen aus erneuerbaren Energien,

→ Koordinierung und Verknüpfung einer großen Zahl von kleinen dezentralen Speichern zu virtuellen Großspeichern,

- → Erbringung von Systemdienstleistungen durch Speicher in Verbindung mit erneuerbaren Energien,
- → Reduzierung der Investitionskosten und Anfahrzeiten sowie Verbesserung des Wirkungsgrads und der Lebensdauer/Zyklenlebensdauer,
- → Nutzung der Speicherkapazität von Elektrofahrzeugen für Lastmanagement und Rückspeisung sowie für Regelenergiedienstleistungen zur Integration erneuerbarer Energien.

4.7.5 Systemdienstleistungen

Zurzeit werden Systemdienstleistungen v. a. durch fossile Kraftwerke erbracht. In einem regenerativen Energiesystem müssen diese Aufgaben aber von Erneuerbare-Energien-Anlagen und Energiespeichern erbracht werden. Obwohl dies schon heute teilweise möglich ist, werden diese Systemdienstleistungen bisher oft nicht abgerufen. Mit der Begründung der fehlenden Systemsicherheit werden Erneuerbare-Energien-Anlagen abgeschaltet und fossile Kraftwerke am Netz gelassen. Förderschwerpunkte sind Forschung und Entwicklung in folgenden Themenfeldern:

- → Entwicklung spezifischer Möglichkeiten für Systemdienstleistungen durch erneuerbare Energien und Speicher, z. B. Entwicklung von Konzepten zur Frequenzregelung in einem weitgehend auf erneuerbaren Energien basierendem Energiesystem,
- → Entwicklung von Konzepten und Regelungsverfahren für eine Teilnahme von Erneuerbare-Energien-Anlagen am Regelenergiemarkt,
- → Weiterentwicklung von Systemkomponenten, wie beispielsweise Wechselrichter für die Netzeinspeisung, um Systemdienstleistungen zu erbringen,
- → Entwicklung von Anforderungen und Möglichkeiten für Systemdienstleistungen durch Erneuerbare-Energien-Anlagen, ausgehend von einem weitgehend auf erneuerbaren Energien basierendem Energiesystem.

4.7.6 Prognosen für Erzeugung und Verbrauch

Vorhersagen für die Einspeisung fluktuierender erneuerbarer Energien sind ein wichtiges Element zur Planung, sowohl für den Netzbetrieb als auch den Energiehandel. Die Güte der Prognosen beeinflusst z. B. den Bedarf an Regelleistung und damit die Kosten des Energiesystems. Neben Erzeugungsprognosen werden zukünftig aber auch Lastprognosen an Bedeutung gewinnen, um z. B. Kapazitäten für Lastmanagementmaßnahmen abzuschätzen.
Der Forschungsbedarf umfasst:

- → Verbesserungen der Vorhersagen für die Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik,
- → Verlängerung des Prognosezeitraums (z. B. 96 Stunden, Woche),
- → Verbesserung regionaler Prognosen, Berücksichtigung von Sonderwetterlagen und regionalen Phänomenen,
- → Verbesserung der Prognosen von Extremereignissen,
- → Entwicklung eines Risikomanagements mit Warnungen und Unsicherheiten,
- → Vorhersagen zur Leistungskapazität von Leitungen zur besseren Ausnutzung der Netzkapazitäten, um Abregelungen von Erneuerbare-Energien-Anlagen zu minimieren,
- → Lastprognosen, z. B. für die Abschätzung der verfügbaren Kapazitäten für Lastmanagementmaßnahmen (inkl. Elektrofahrzeuge), zur Integration erneuerbarer Energien.

4.8 Querschnittsforschung: Rahmenbedingungen für einen hohen Anteil erneuerbarer Energien

Um die Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien zu erreichen, ist es notwendig, geeignete politische, soziale, ökologische und ökonomische Rahmenbedingungen zu beachten bzw. zu schaffen.

Dazu ist das bestehende Energieversorgungssystem weiterzuentwickeln. Die Transformation der Energieversorgung hin zu einem weitgehend auf erneuerbaren Energien beruhendem System sowie die Markt- und Systemintegration der erneuerbaren Energien stehen dabei im Mittelpunkt. Dies bedeutet, auch die ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen für hohe Anteile erneuerbarer Energien in einem optimierten Gesamtsystem aufzuzeigen und jederzeit eine sichere, sozial und ökologisch verträgliche sowie wirtschaftliche Energieversorgung zu gewährleisten. Entsprechende Untersuchungen können im Rahmen der Querschnittsforschung des Bundesumweltministeriums gefördert werden. Die jeweiligen Förderschwerpunkte werden regelmäßig in gesonderten Förderbekanntmachungen zur Gesamtstrategie zum weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien festgelegt.

4.9 Haushaltsmittel

Projektförderung BMU (Tsd. Euro)

	Ist	Soll	Plandaten[1, 2]		
	2010	2011	2012	2013	2014
Erneuerbare Energien	120.202	128.866	148.866	158.366	158.366
Energie- und Klimafonds	—	22.000	16.000	71.400	91.000
Summe	**120.202**	**150.866**	**164.866**	**229.766**	**249.366**

1 Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
2 Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt

5 Forschungsförderung des BMELV

5.1 Bioenergie – Daten und Fakten

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Die Nutzung von Bioenergie spielt bei der Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen bereits heute eine wichtige Rolle[1].

Nach Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energie-Statistik (AGEE-Stat) wurden im Jahre 2009 243,5 TWh Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen bereitgestellt. Davon stammten 70 % aus Biomasse. Mit 43,2 % wurde über die Wärmeerzeugung aus Biomasse noch vor der Windenergie der größte Einzelanteil erbracht. Biokraftstoffe waren an der Endenergieerzeugung mit 13,9 % und die Stromproduktion mit 12,5 % beteiligt.

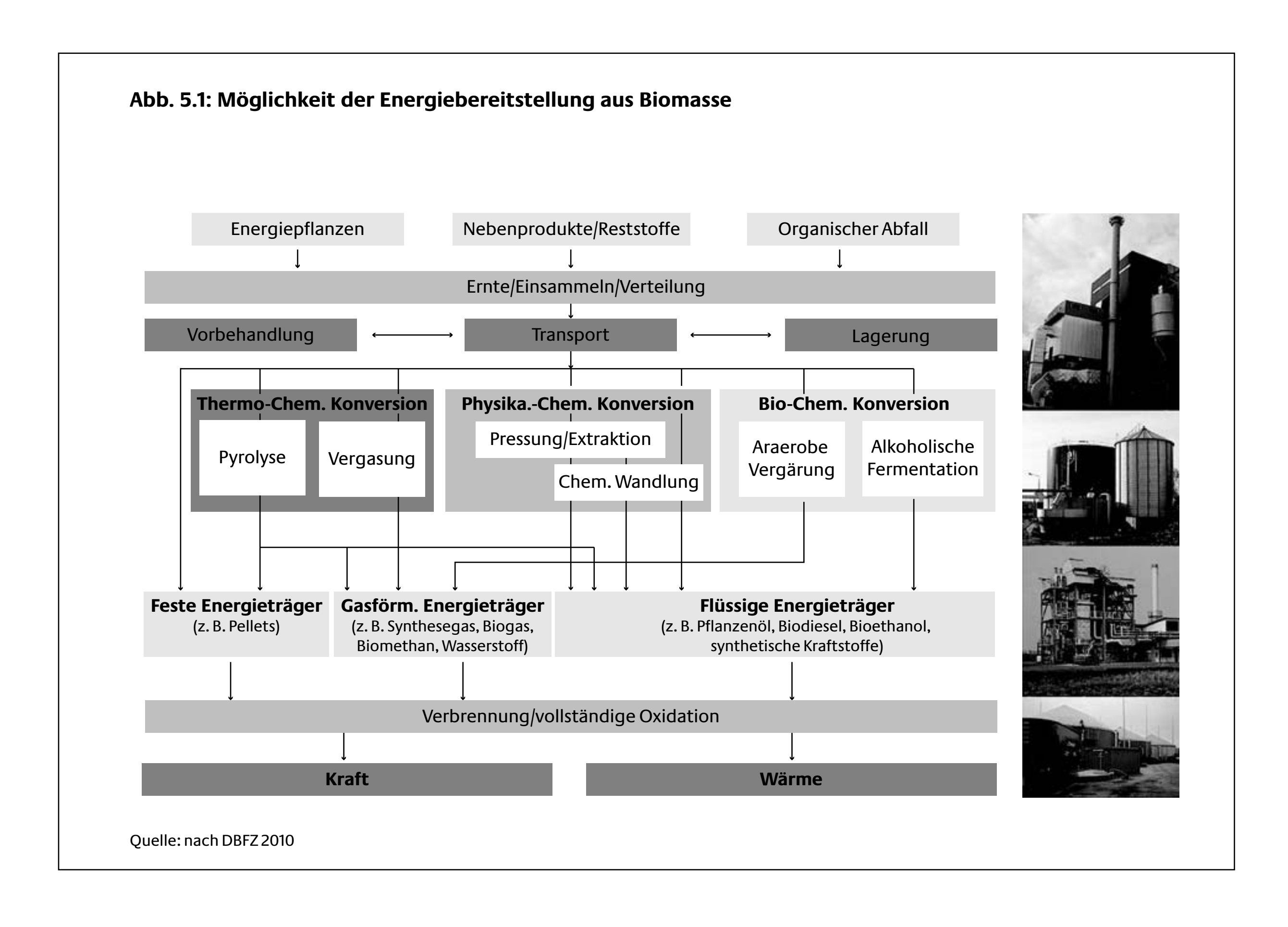
Biokraftstoffe sind derzeit die einzig verfügbaren regenerativen Kraftstoffe. Von den 33,8 TWh an Biokraftstoffen wurden 76,9 % über Biodiesel, 20 % über Ethanol und 3,1 % über Pflanzenöl erbracht.

Durch den Einsatz von erneuerbaren Energien konnten im Jahr 2009 rd. 109 Mio. t CO_2-Äquivalente vermieden werden. Der Anteil der Biomasse an dieser Vermeidung betrug rund 47 %.

Die Möglichkeiten, Energie aus Biomasse bereitzustellen, sind dabei äußerst vielfältig, wie Abb. 5.1 zeigt.

Auch als Wirtschaftsfaktor ist die Bioenergie im Bereich der erneuerbaren Energien von hoher Bedeutung. So erreichte die Wertschöpfung aus dem Betrieb von Bioenergieanlagen im Jahre 2009 9,15 Mrd. € (insgesamt erneuerbare Energien: 17,1 Mrd. €), es wurden zudem für 12,6 Mrd. € (insgesamt erneuerbare Energien: 37,5 Mrd. €) Investitionen im Bereich Bioenergie getätigt. Verbunden damit waren ca. 110.000 Arbeitsplätze, im Jahre 2004 lag die Zahl der Beschäftigten im Bereich Bioenergie noch bei 57.000.

Abb. 5.1: Möglichkeit der Energiebereitstellung aus Biomasse



Quelle: nach DBFZ 2010

Diese Entwicklung schlägt sich auch für die heimische Landwirtschaft positiv nieder. Der Anbau von Energiepflanzen wurde von 1.701.500 ha im Jahre 2009 auf 1.834.000 ha im Jahre 2010 gesteigert. Neben dem Anbau von Raps für Biodiesel/Pflanzenöl auf 940.000 ha war insbesondere der Anbau von Pflanzen für die Biogaserzeugung mit 650.000 ha an diesem Anstieg beteiligt. Insgesamt wurden in Deutschland im Jahre 2010 rund 2,15 Mio. ha für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt. Zum Vergleich: Die gesamte Ackerfläche Deutschlands beträgt 12 Mio. ha.

Das am 28. September 2010 durch die Bundesregierung veröffentlichte Energiekonzept stellt die Nutzung von Bioenergie vor neue Herausforderungen. Bei gleichzeitig sinkendem Primärenergieverbrauch – die Szenarien gehen von einem Rückgang von heute 14.000 PJ auf ca. 7.000 PJ im Jahr 2050, also rund die Hälfte, aus – soll der Beitrag der Biomasse zur Primärenergieerzeugung massiv ausgeweitet werden. Die nachfolgende Grafik (Abb. 5.2) veranschaulicht dies.

Von den bis zu 2.200 PJ, welche die Bioenergie im Jahre 2050 erbringen soll, sollen zudem 80 % aus heimischer Produktion stammen. Eine besondere Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang die Ausweitung der Biokraftstoffnutzung auf bis zu 880 PJ, dem Sechsfachen des heutigen Anteils, dar. Das Energiekonzept der Bundesregierung macht damit deutlich, dass die Forschung, Entwicklung und Demonstration der Bioenergiebereitstellung und -nutzung weiterhin einen wichtigen Bereich darstellen wird.

Institutionelle Forschungsförderung

Seit 2008 wurde die Forschungsförderung zusätzlich durch die Gründung des DBFZ (Deutsches Biomasse-ForschungsZentrum gGmbH) in Leipzig in erheblichem Maße intensiviert, um die fachübergreifende anwendungsnahe Forschung und die Technologiebewertung bis hin zur Politikberatung zu komprimieren. Das DBFZ stellt damit die zentrale deutsche Einrichtung zur Forschung im Bereich Bioenergie dar.

Technologieentwicklung und Förderstruktur

Seit 1993 unterstützt das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“[2] Forschung, Entwicklung und Demonstration zur energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland.

Als Voraussetzung für eine mögliche Förderung aus dem Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe

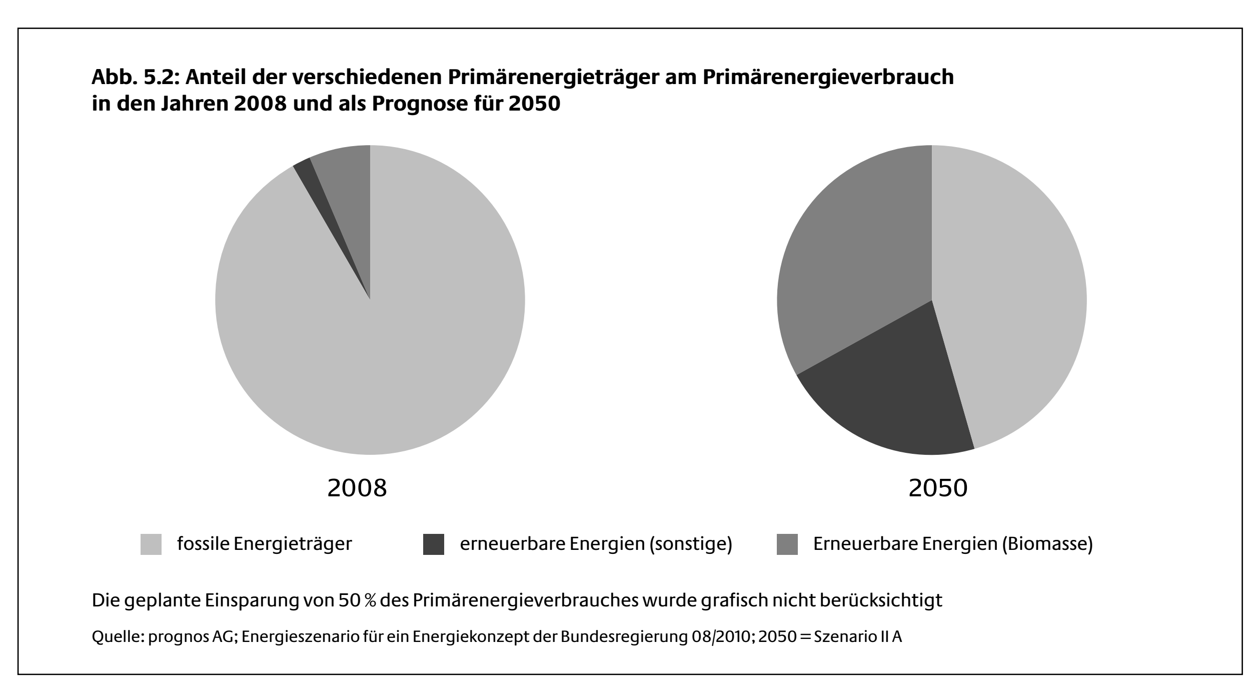


Abb. 5.2: Anteil der verschiedenen Primärenergieträger am Primärenergieverbrauch in den Jahren 2008 und als Prognose für 2050

Die geplante Einsparung von 50 % des Primärenergieverbrauches wurde grafisch nicht berücksichtigt

Quelle: prognos AG; Energieszenario für ein Energiekonzept der Bundesregierung 08/2010; 2050 = Szenario II A

müssen potenzielle Vorhaben folgende Zielsetzungen erfüllen:

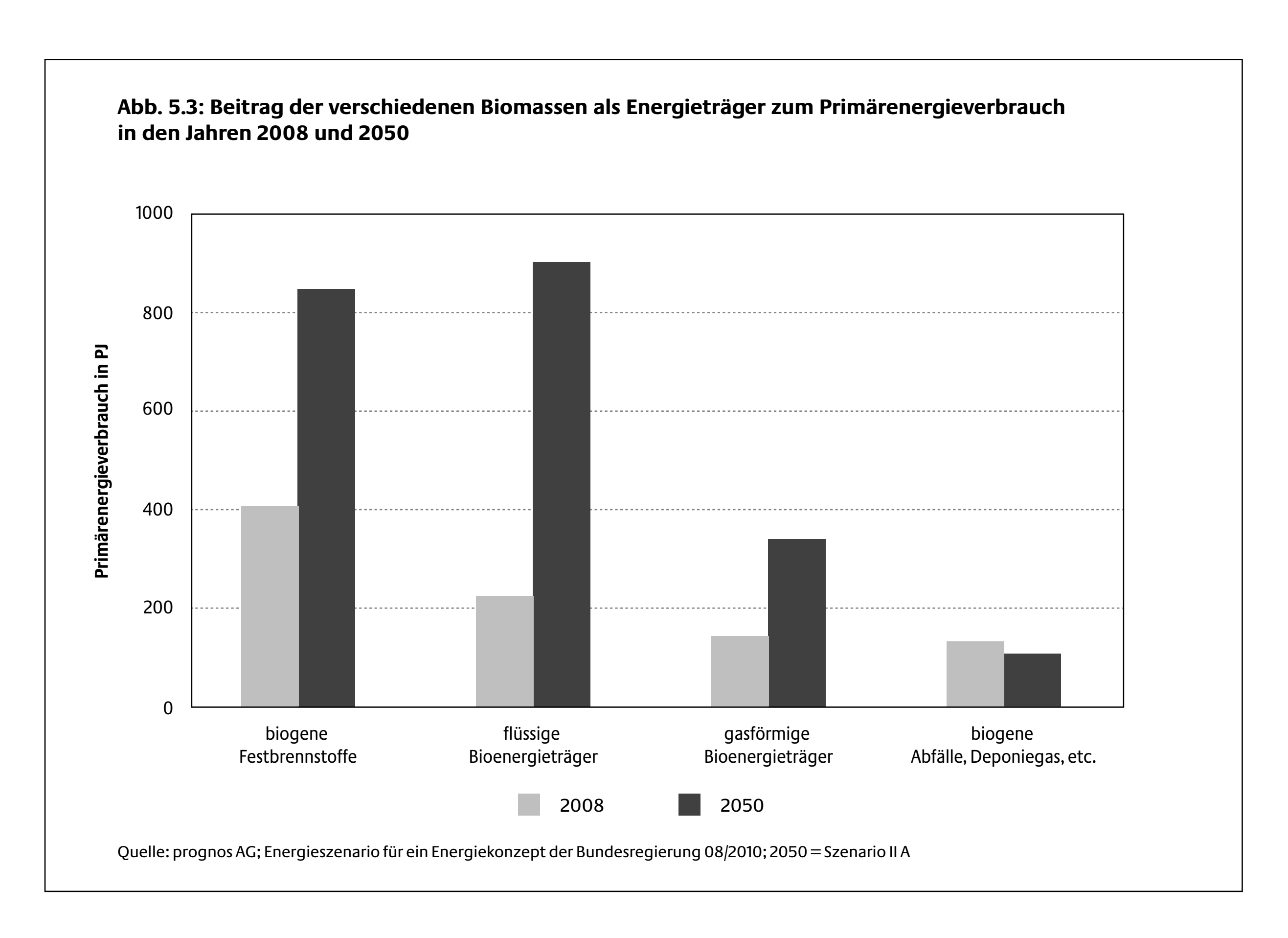
- → einen Beitrag zur nachhaltigen Rohstoff- und Energieversorgung leisten,
- → die Umwelt durch Ressourcenschutz und Minderung der CO_2-Emissionen entlasten und gleichzeitig den Naturhaushalt schonen,
- → die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Land- und Forstwirtschaft sichern bzw. verbessern.

Berücksichtigt werden können zudem nur nachwachsende Rohstoffe, d. h. gezielt für die stoffliche oder energetische Nutzung durch die Land- und Forstwirtschaft in Deutschland produzierte Biomasse sowie Rest- und Koppelprodukte der land- und forstwirtschaftlichen Produktion wie Stroh, Getreideausputz oder Gülle. Industrielle und kommunale organische Rest- und Abfallstoffe können keine Berücksichtigung finden.

Das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe ist kein auf die Energieforschung allein beschränktes Förderprogramm. Der Bereich Energie stellt nur einen Bereich unter anderen dar, ebenso werden aus dem Förderprogramm Maßnahmen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und zur Öffentlichkeitsarbeit gefördert. Der Mittelansatz der heutigen Förderung entfällt zu ca. 40 % auf Vorhaben der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, zu ca. 40 % auf die stoffliche Nutzung und zu ca. 20 % auf Maßnahmen der Verbraucherinformation.

Mit der Schaffung des Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ (EKF)[3] stellt die Bundesregierung ab 2011 zusätzliche Mittel zur Forschungsförderung für die Intensivierung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen bereit. Im Zuständigkeitsbereich des BMELV stehen zusätzliche Mittel für FuE-Arbeiten zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung. Über diese Mittel konnten sechs zusätzliche Förderschwerpunkte initiiert werden:

Abb. 5.3: Beitrag der verschiedenen Biomassen als Energieträger zum Primärenergieverbrauch in den Jahren 2008 und 2050



Quelle: prognos AG; Energieszenario für ein Energiekonzept der Bundesregierung 08/2010; 2050 = Szenario II A

- → Züchtung zur Anpassung von Energiepflanzen an den Klimawandel,
- → intelligente Lösungen zur kombinierten Nutzung von Bioenergie und anderen erneuerbaren Energien,
- → Effizienzsteigerung für dezentrale Bioenergiekonzepte,
- → Entwicklung von Konversionsrouten zur Bereitstellung von Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen mittels Algen,
- → Biokraftstoffe,
- → Untersuchung zu Humus- und Nährstoffwirkung organischer Reststoffe aus Biomassekonversionsanlagen.

Die Betreuung des Förderprogramms erfolgt durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, als zuständigem Projektträger. Weitere Details zur Gestaltung von Vorhaben sind unter www.fnr.de zu finden.

Die anwendungsorientierte Forschungsförderung des BMELV erfolgt hierbei in Abstimmung mit der Förderung der Grundlagenforschung im Bereich Bioenergie durch das BMBF.

Stand der Forschung

Im Vergleich zu anderen Themenfeldern der Energieforschung ist das Themenfeld Bioenergie von einer hohen Vielfältigkeit der Ansätze sowie Flächen- und Nutzungskonkurrenzen als wichtigen Rahmenbedingungen geprägt – **ein** Königsweg der Nutzung ist aufgrund der Heterogenität von nachwachsenden Rohstoffen oder Reststoffen und Koppelprodukten der Land- und Forstwirtschaft nicht vorhanden. Deshalb wird im Rahmen des Forschungsprogramms Nachwachsende Rohstoffe der Gesamtansatz entlang der gesamten Wertschöpfungskette verfolgt.

Anbau und Züchtung – Nachhaltigkeit

Anbau und Züchtung von Kulturpflanzen sind als eine Querschnittsaufgabe[2, 4] im Bereich Bioenergie von zentraler Bedeutung für die zukünftige Rohstoffversorgung aller Konversionspfade. Ohne eine nachhaltige, effektive und vor allem Nutzungskonkurrenzen vermeidende land- und forstwirtschaftliche Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen wird sich der im Energiekonzept der Bundesregierung formulierte Ausbau der Bioenergienutzung nicht verwirklichen lassen. Das BMELV unterstützt diese Entwicklung bereits seit Längerem mit umfangreichen Fördermaßnahmen, stellvertretend für die Entwicklung ist hier das in mehreren Phasen durchgeführte Verbundvorhaben zum Energiepflanzenanbau EVA zu nennen.

Obwohl in der täglichen Praxis der Land- und Forstwirtschaft Deutschlands seit Jahrhunderten verankert, ist durch den erheblich angestiegenen Bedarf an Biomasse zur energetischen Verwertung – und infolgedessen auch durch den Import von Biomasse bzw. Produkten wie Palmöl – die Nachhaltigkeitsfrage, d. h. eine auch umwelt- und naturverträgliche Biomasseproduktion, ein wichtiges Thema der öffentlichen Akzeptanz geworden. Zudem wird der regional steigende Anbau bestimmter Energiepflanzenarten wie Mais sowohl aus Naturschutzsicht als auch von der breiten Öffentlichkeit kritisch beobachtet.

Es gilt aber auch, die Kriterien der Bewertung der Nachhaltigkeit fortzuschreiben. Die derzeit auf nationaler und europäischer Ebene in Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie sowie Biokraftstoff-Richtlinie eingeführten Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigen viele Elemente der guten landwirtschaftlichen Praxis wie Fruchtfolgen, die zum langfristigen Erhalt der Bodenfruchtbarkeit eingeführt wurden, nicht. Die Anforderungen sind deshalb entsprechend fortzuschreiben, die Anpassungen sind durch Maßnahmen von Forschung und Entwicklung, z. B. bei der Bestimmung der Treibhausgasemissionen, zu unterstützen. Vor diesem Hintergrund wurde durch das BMELV auch die Entwicklung des Zertifizierungssystems ISCC unterstützt. Wegen der fundamentalen Bedeutung von Anbau und Züchtung für die Biomasseproduktion und deren Nachhaltigkeit sieht das BMELV im Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ einen Förderschwerpunkt zur Energiepflanzenproduktion vor (siehe Abschnitt 5.2).

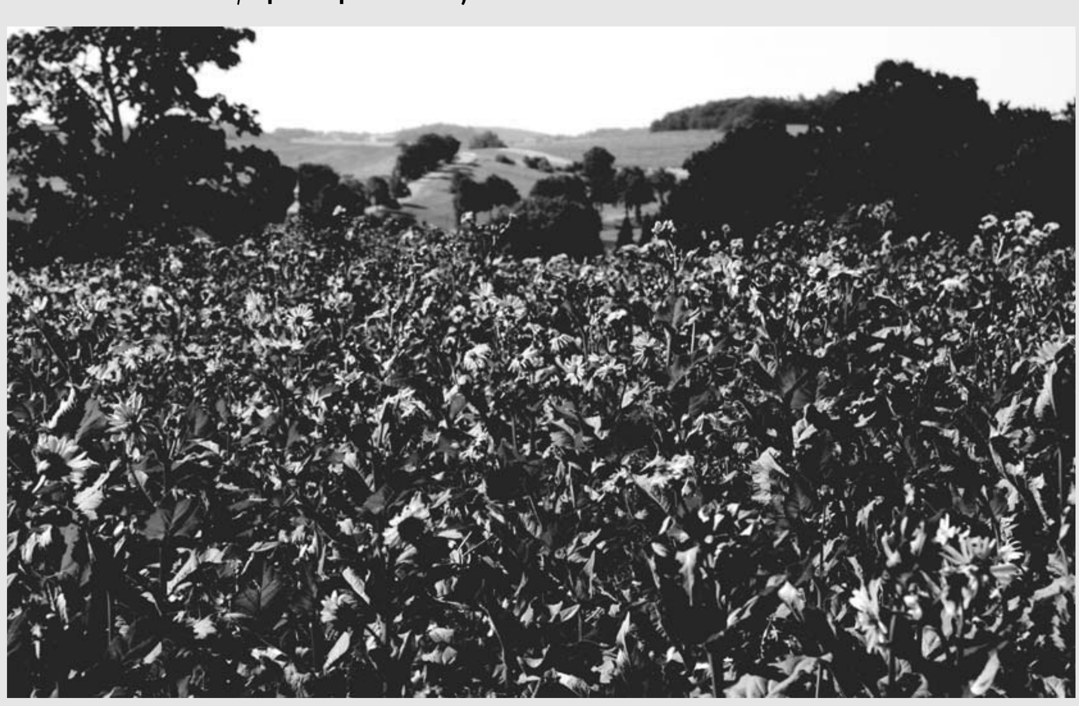
Feste Bioenergieträger

Feste Biomasse, den wesentlichen Anteil machen hier Holz bzw. Holzprodukte wie Pellets aus, wird heute vorwiegend zur Wärmeerzeugung für Raumwärme oder in Nahwärmenetzen genutzt. Wie unter dem Abschnitt „Energiewirtschaftliche Ausgangslage“ dargelegt, erbringt die Raumwärmeerzeugung aus fester Biomasse heute einen wesentlichen Anteil der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen.

Bei der Wärmeerzeugung besteht insbesondere bei Kleinfeuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Mit der letzten Novellierung der 1. BImSchV wurden verschiedene Emissionsgrenzwerte derart verschärft, dass zukünftig ein deutlicher Rückgang der Nutzung biogener Brennstoffe in Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV zu erwarten ist. Diese zu erwartende Entwicklung ist durch entsprechende Fördermaßnahmen abzufangen. Insbesondere muss die Nutzung von Alternativen zum Holz, d. h. weiterer fester Biomassefraktionen wie Stroh, Getreiderückstände oder Mischpellets, weiter untersucht und entwickelt werden. Aufgrund der derzeit hohen Bedeutung der Nutzung fester Biomasse in Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV stellt die weitere Entwicklung des Bereiches einen Förderschwerpunkt bei den Aktivitäten des BMELV dar (siehe Abschnitt 5.3).

Im Bereich Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) konzentriert sich aus wirtschaftlichen Gründen die Stromerzeugung heute auf Alt- und Abfallhölzer. Waldholz oder landwirtschaftliche biogene Brennstoffe werden in Großanlagen oberhalb 1 MW Feuerungswärmeleistung kaum genutzt, in kleineren Anlagen können zukünftig auch Waldholz und alternative feste Biomassen eine wesentliche Rolle spielen. Für Holz ist mit dem Dampfkraftprozess ein eingeführter technischer Prozess vorhanden, der eine Stromerzeugung nach dem Stand der Technik ermöglicht.

Abb. 5.4: Anbauversuch mit „Durchwachsener Silphie“ (mehrjährige Energiepflanze mit hoher Trockenresistenz und Massenwachstum/Silphium perfoliatum) als Alternative zu klassischen nachwachsenden Rohstoffen[5]



Bildquelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

KWK mit anderen festen Biomassen außer Holz ist bislang an den feuerungstechnischen Eigenschaften alternativer Brennstoffe wie Stroh oder Energiegetreide gescheitert. Zusätzlich wirken sich die Regelungen des deutschen Genehmigungsrechts, das die einfache Übertragung, z. B. technisch funktionierender dänischer Lösungen, nicht zulässt, begrenzend aus (z. B. Emissionsbegrenzungen). Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist klar gegeben, um unter deutschen Rahmenbedingungen Verbrennungstechnologien vorantreiben zu können.

Die thermochemische Vergasung, auch in Kombination mit anderen Verfahren wie der Pyrolyse, stellt theoretisch einen weiteren Weg der KWK unter Nutzung fester Biomassen dar. Trotz zahlreicher Entwicklungsansätze in den letzten beiden Dekaden ist festzustellen, dass lediglich ein in Österreich entwickeltes Verfahren, das zuerst am Standort Güssing eingesetzt wurde, den Markt erreicht hat. In Deutschland wird auf Basis dieses Verfahrens am Standort Ulm ein Vorhaben mit Förderung des BMELV umgesetzt. Alle anderen Ansätze in Deutschland haben bislang nicht zu einer Marktwirkung geführt. Die thermochemische Vergasung bleibt als Option der energetischen Nutzung fester Biomassen erhalten, vor dem Hintergrund der langjährigen Entwicklungsgeschichte sind neue Fördermaßnahmen aber sehr sorgfältig zu evaluieren und abzuwägen.

Weitere Nutzungspfade, z. B. über die Pyrolyse oder hydrothermale Verfahren, befinden sich in der Entwicklung. Ob die Umsetzung möglichen Forschungs- und Entwicklungsbedarfes über das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ abgedeckt werden kann, ist im Einzelfall zu prüfen.

Gasförmige Energieträger[7]

Im Bereich der gasförmigen Energieträger, die nicht aus der Vergärung bereitgestellt werden, ist in der letzten Dekade eine rasante Entwicklung der Zahl der Anlagen und deren Leistungsfähigkeit zu beobachten. Eine Vielzahl von Unternehmen konnte sich etablieren. Heute kann die deutsche Biogasbranche als weltweit führend bezeichnet werden. Neben der klassischen KWK hat in den letzten beiden Jahren auch die Einspeisung von aufbereitetem Biogas (sog. Biomethan) in das Erdgasnetz wesentlich an Bedeutung gewonnen. Biomethan kann dabei sowohl für stationäre Anwendungen als auch als Kraftstoff zum Einsatz kommen. Mittlerweile sind neben den klassischen Biogasanlagen mehr als 50 Anlagen mit Einspeisung erfolgreich in Betrieb genommen worden. Es gilt, diesen erreichten hohen Stand der Entwicklung durch die Weiterführung einer angemessenen Förderung von Forschung und Entwicklung zu sichern. Die Anlagentechnik, die Prozessführung und die substanzielle Kostensenkung von Biogasverfahren sind auf neue, unter Beachtung der Agrobiodiversivität durch Züchtung und Anbau bereitzustellende Kulturpflanzen anzupassen und zu optimieren.

Grundsätzlich stellen die Prozessoptimierung und die Prozessverbesserung, angefangen bei der Aufbereitung der Substrate über den Fermentationsprozess bis hin zur Gärrestkonditionierung, wichtige Themen für eine zukünftige Forschung und Entwicklung dar. Die Verfahren sind hinsichtlich einer maximalen Biogasausbeute bei hoher Gasqualität, geringen Gasverlusten (Methanschlupf) und Sicherung der Nachhaltigkeit der Produktion weiterzuentwickeln (siehe Abschnitt 5.4). Die Einspeisung von aufbereitetem Biogas in das Erdgasnetz erlangt verstärkte Bedeutung, so dass auch hier die Aufbereitungsverfahren weiterzuentwickeln sind.

Insgesamt gesehen stellt die Förderung im Bereich Biogas ein gutes Beispiel für das Zusammenspiel unternehmerischer Aktivitäten und öffentlicher Förderung dar.

Flüssige Bioenergieträger[8, 9]

Im Bereich Biokraftstoffe stellen (neben Biomethan als gasförmigem Energieträger) flüssige Bioenergieträger heute die einzige marktfähige Alternative zu fossilen Kraftstoffen dar. Durch das Biokraftstoffquotengesetz ist der Einsatz von Biokraftstoffen aus Sicht der Politik verstetigt worden. Getragen wird heute der Einsatz von Biokraftstoffen insbesondere durch die Zumischung von Fettsäuremethylestern (FAME) aus Pflanzenölen sowie Ethanol auf Basis von stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen zu den fossil basierten Kraftstoffen Diesel und Benzin. Hinzu tritt die Beimischung von hydriertem Pflanzenöl (HVO = Hydrogenated oder Hydrotreated Vegetable Oils) zu den genannten Kraftstoffen. Durch die politischen

Rahmenbedingungen hat der Einsatz von Pflanzenölen zunehmend an Bedeutung verloren. Die Produktion von konventionellem FAME, Ethanol und HVO ist Stand der Technik, die Produktionsmethoden sind kommerziell etabliert. Für eine öffentliche Förderung von Forschung und Entwicklung bestehen die Ansatzpunkte vor allem in den dynamisch festgelegten Nachhaltigkeitsanforderungen, die in den kommenden fünf bis sieben Jahren eine weitere signifikante Reduktion der Treibhausgasemissionen erreichen müssen. Insbesondere für Reinkraftstoffe besteht aus technischer Sicht durch die sich aus der Verschärfung der Emissionsgrenzwerte ergebenden Anforderungen an zukünftige Motorengenerationen Entwicklungsbedarf. Über den grundsätzlichen Erhalt der Forschung in diesem Bereich hinaus ist aber festzustellen, dass diese Anwendung zunehmend auf Nischen beschränkt ist und auch der Umsetzungsfähigkeit in den Markt eine entscheidende Rolle bei der Gewährung von Fördermitteln zukommt.

Gemessen an den Szenarien zum Energiekonzept der Bundesregierung – diese postulieren in einigen Szenarien eine Vervierfachung der Biokraftstoffnutzung bis 2050 – sind die Verbreiterung der Rohstoffbasis, auch durch Nutzung der ganzen Pflanzen, sowie Alternativen (z. B. Algenbiomasse) und die Entwicklung neuer Nutzungsrouten von Bedeutung. Zu nennen sind hier exemplarisch die Erzeugung von Ethanol aus Lignocellulosebiomasse oder die Gewinnung von synthetischen Biokraftstoffen über thermochemische Prozesse (z. B. Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, Biomethan via Bio-SNG, Dimethylether). Mit der Förderung des bioliq-Verfahrens des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) hat das BMELV in diesem Bereich ein deutliches Zeichen des Engagements gesetzt.

Durch die Ausweitung des Handels mit CO_2-Zertifikaten werden zukünftig weitere Sektoren des Verkehrsbereiches, der Luftverkehr zeigt bereits Interesse, auf Biokraftstoffe zurückgreifen. Die Anforderungen dieser Bereiche an Biokraftstoffe unterscheiden sich dabei deutlich von denen des straßengebundenen Verkehrs. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, es wird das Engagement deutscher Unternehmen über Art und Umfang der zukünftigen Fördermaßnahmen entscheidend mitbestimmend sein.

Strategisch wichtige Förderbereiche

Im Rahmen des Förderprogramms ist die Förderung einer breiten Palette von Themenstellungen, angefangen bei Querschnittsaufgaben wie Anbau, Züchtung oder Öffentlichkeitsarbeit bis hin zu besonderen Fragestellungen in den Bereichen feste, flüssige und gasförmige Energieträger grundsätzlich möglich. Die einzelnen Förderschwerpunkte im Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ sowie im EKF werden als generelle FuE-Themen im Folgenden ausführlicher beschrieben.

Durch die Schaffung des EKF sowie die entsprechende Bereitstellung von Fördermitteln konnten u. a. bereichsübergreifende FuE-Schwerpunkte für den Bereich Bioenergie entwickelt werden:

→ intelligente Lösungen zur kombinierten Nutzung von Bioenergie und anderen erneuerbaren Energien (in Abstimmung mit den zuständigen Ressorts),

→ Effizienzsteigerung für dezentrale Bioenergie-Nutzungskonzepte.

Im Rahmen dieser Schwerpunkte werden insbesondere eine Erhöhung der Effizienz der energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und eine stärkere Integration von Lösungen bei möglichst weitgehender Schonung des Naturhaushalts und der biologischen Vielfalt angestrebt.

Zu den Details der Schwerpunkte wird auch bei den folgenden Ausführungen auf die diesbezüglichen Bekanntmachungen des BMELV verwiesen.

5.2 Nachhaltige Biomasseproduktion

Hierunter fallen die Forschungsthemen Züchtung und Anbau mit Biomasselogistik sowie Mechanismen zur Sicherung der nachhaltigen Produktion, die gleichzeitig den Naturhaushalt schonen. Als übergeordnete Handlungsfelder sind zu nennen:

→ Anpassung von Energiepflanzen an den Klimawandel,

- Züchtungsforschung zur Etablierung neuer Kulturpflanzen sowie Entwicklung von Anbauverfahren/Fruchtfolgen,

- Optimierung von Anbauverfahren hinsichtlich Ertrag, Ressourcenverbrauch, Gewässerschutz, Biodiversität und Nachhaltigkeit[10],

- Evaluierung, Verbesserung und Anpassung von Mess- und Bewertungsmethoden zur Bestimmung relevanter Emissionen beim Energiepflanzenanbau.

Für das Jahr 2011 wurde durch das BMELV der Schwerpunkt „Energiepflanzenproduktion“ für das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ bekanntgemacht. Im Fokus dieses Schwerpunktes stehen pflanzenbauliche, landtechnische und logistische sowie im Einzelfall auch züchterische Forschungsarbeiten sowie geeignete Maßnahmen zur Evaluierung neuer Kulturarten als Beitrag für die Erweiterung der Agrobiodiversität in der deutschen Landwirtschaft. Daraus ergeben sich als Projektthemen:

- die Optimierung der Energiepflanzenproduktion,

- neue Energiepflanzen für die Biomasseproduktion in Deutschland.

Mit den zusätzlichen Mitteln des EKF konnte ein weiterer Förderschwerpunkt „Züchtung zur Anpassung von Energiepflanzen an den Klimawandel“ festgelegt werden, mit dem die FuE-Arbeiten zu diesem wichtigen Feld intensiviert werden.

Ebenfalls mit Hilfe zusätzlicher Mittel des EKF wurde der Schwerpunkt „Entwicklung von Konversionsrouten zur Bereitstellung von Energieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen mittels Algen“ veröffentlicht. Mit der Verbindung nachwachsender Rohstoffe und Algen sollen neue nachhaltige Produktlinien geschaffen werden.

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft ist auch notwendig, Reststoffe aus der Biomassekonversion möglichst auf land- und forstwirtschaftliche Nutzflächen zurückzuführen. Hierzu wurde aus Mitteln des EKF der Schwerpunkt „Untersuchungen zur Humus- und Nährstoffwirkung organischer Reststoffe aus Biomassekonversionsanlagen“ konstituiert. Gegenstand der im Schwerpunkt geplanten Arbeiten sollen insbesondere Gärreste von Biogasanlagen sein.

5.3 Feste Bioenergieträger

Energiewirtschaftliche Ausgangslage

Der FuE-Bedarf bei festen Bioenergieträgern wird, bedingt durch die Bedeutung der aus Biomasse erzeugten Wärme im Kontext der erneuerbaren Energien, durch die aktuellen Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen, insbesondere die Novellierung der 1. BImSchV, dominiert.

Für das Jahr 2011 wurde durch das BMELV deshalb ein entsprechender Förderschwerpunkt bekannt gemacht. Der Förderschwerpunkt umfasst anwendungsorientierte Projekte zur Erforschung neuer und innovativer Methoden, Verfahren und Nutzungskonzepte zur energetischen Nutzung fester Biobrennstoffe. Folgende Themenbereiche werden als wichtig ansehen:

- Entwicklung umwelt- und naturschutzfreundlicher, effizienter und wirtschaftlicher Biobrennstoffe zur Wärmeerzeugung als Alternative zu Holzbrennstoffen,

- Umweltverträglichkeit von Kleinfeuerungen der 1. BImSchV mit Biobrennstoffen.

Über den drängenden FuE-Bedarf im Bereich der 1. BImSchV sind als FuE-Themen zu nennen:

- Verbesserung der Energieeffizienz der Nutzung fester Biobrennstoffe,

- Entwicklung, Erprobung und Evaluierung von Mischbrennstoffen, insbesondere die Prüfung der Anwendbarkeit bislang ungenutzter Biomassefraktionen,

- Entwicklung und Erprobung hocheffizienter Prozesse der Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung im dezentralen Bereich und

- → Konditionierung von festen Biomassen, insbesondere durch thermochemische oder hydrothermale Verfahren, als Vorstufe der weiteren Umsetzung, z. B. zu Synthesegas.

5.4 Gasförmige Bioenergieträger/ Biogas

Der FuE-Bedarf bei Biogas ist stark praxisorientiert ausgerichtet, die biotechnologischen Prozessgrundlagen erfordern genauso wie die Reduzierung von negativen Umwelteffekten weitere Forschung. Vor diesem Hintergrund sind die nachfolgend genannten FuE-Felder von Bedeutung:

- → Vertiefung des Verständnisses des Biogasprozesses,
- → Einsatz von Hilfsstoffen (Enzyme, Mineralien u. Ä.) zur Erhöhung der Umwandlungseffizienz der Gasausbeute,
- → Verbesserung der Prozessbeherrschung durch Weiterentwicklung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik,
- → Reduzierung von negativen Umwelteffekten (u. a. durch technische Entwicklungen, aber auch von Konzepten zur effizienten Nutzung des Energieträgers Biogas),
- → Optimierung von Technologien und Bereitstellungsketten von Biomethan im großen und kleinen Leistungsbereich.

5.5 Flüssige Bioenergieträger/ Biokraftstoffe

Gemessen an den das Energiekonzept der Bundesregierung begleitenden Energieszenarien ist eine deutliche Steigerung der Nutzung biogener Kraftstoffe in der Zukunft notwendig. Wie oben dargestellt interessieren sich neben dem straßengebundenen Verkehr auch andere Verkehrssektoren für Biokraftstoffe. Zukünftige FuE-Felder müssen dem Rechnung tragen:

- → Entwicklung und Erprobung neuer, hoch energieeffizienter Herstellungsrouten zur Erzeugung von Biokraftstoffen,
- → Entwicklung, Erprobung und Evaluierung von Kraftstoffmischungen mit variablem biogenen Anteil,
- → Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten von biogenen Kraftstoffen in Bereichen außerhalb des straßengebundenen Verkehrs wie Luft- und Schifffahrt oder Schienenverkehr.

Im Rahmen des EKF wurde die Förderinitiative „Biokraftstoffe“ durch das BMELV initiiert. Gegenstand der Förderinitiative ist die Förderung:

- → innovativer Ansätze zur Effizienzsteigerung sowie zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei Biokraftstoff-Altanlagen,
- → von Demonstrationsvorhaben für innovative Produktionsverfahren.

Die Förderinitiative „Biokraftstoffe“ ist anwendungsbezogen orientiert.

5.6 Haushaltsmittel

Projektförderung BMELV (Tsd. Euro)					
	Ist	Soll		Plandaten[1, 2]	
	2010	2011	2012	2013	2014
Bioenergie	23.168	25.000	25.000	25.000	25.000
Energie- und Klimafonds	—	9.000	6.500	29.300	37.000
Summe	**23.168**	**34.000**	**31.500**	**54.300**	**62.000**

1 Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
2 Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt

Einen weiteren Schwerpunkt der Forschungsförderung der energetischen Nutzung von Biomasse bildet die institutionelle Förderung des Deutschen Biomasse-ForschungsZentrums (DBFZ) mit rund 5 Mio. € pro Jahr.

Literatur:

1 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2009): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland.
Erhältlich unter: www.erneuerbare-energien.de
2 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2008): Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe.
Erhältlich unter: www.nachwachsenderohstoffe.de
3 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2011): Förderschwerpunkte Energie- und Klimafonds.
Erhältlich unter: www.nachwachsenderohstoffe.de
4 Agentur für Erneuerbare Energien e. V. (2009): Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie.
Erhältlich unter: www.unendlich-viel-energie.de
5 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Pflanzenportrait Durchwachsene Silphie.
Erhältlich unter: www.energiepflanzen.info
6 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2005): Leitfaden Bioenergie.
Erhältlich unter: www.fnr-server.de
7 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2010): Leitfaden Biogas.
Erhältlich unter: www.biogasportal.info
8 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2007): Biokraftstoff Pflanzen-Rohstoffe-Produkte.
Erhältlich unter: www.bio-energie.de
9 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2009): Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse.
Erhältlich unter: www.bio-energie.de
10 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2010): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen.
Erhältlich unter: www.fnr-server.de

6 Forschungsförderung des BMBF

6.1 Neue Forschungsagenda

Deutschland beschleunigt den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Die Energiewende ist eine politische und gesellschaftliche Gestaltungsaufgabe ersten Ranges. Die Größe dieser Aufgabe macht es erforderlich, einen breiten gesellschaftlichen Konsens über das Ziel und den Weg dahin zu erreichen. Neben den technologischen Innovationen werden daher auch gesellschaftliche Innovationen benötigt.

Eine wichtige Rolle in diesem Prozess spielen Wissenschaft und Forschung. Der Prozess der Energiewende ist ohne wissenschaftliche Expertise nicht denkbar. Kurzfristige Lösungsstrategien und langfristig orientierte technologische und gesellschaftliche Optionen sind gleichermaßen gefragt, um den neuen Zielsetzungen der Energiepolitik Rechnung tragen zu können. Das Energiekonzept der Bundesregierung mit seiner langfristigen Orientierung bis 2050 eröffnet auch der Grundlagenforschung einen verlässlichen Orientierungsrahmen.

Die Zukunftsvorsorge im Bereich der Energie und Energieforschung erfordert Kontinuität und Ausdauer, Kreativität und Vielfalt, um der Verantwortung gegenüber künftigen Generationen gerecht werden zu können. Die Bundesregierung forciert deshalb die Forschung für eine neue langfristige Energieperspektive. Der Einsatz von fossilen Energieträgern ist zu reduzieren. Zugleich ist der Ausstiegsprozess aus der Kernenergie und die Neuausrichtung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien kontinuierlich wissenschaftlich zu begleiten.

Das BMBF wird durch gezielte förderpolitische Maßnahmen Grundlagenwissen generieren und für die anwendungsorientierte Energieforschung bereitstellen. Vor allem die langjährige Forschungsförderung der Bundesregierung im Energiebereich einschließlich der institutionellen Förderung des BMBF hat die wissenschaftliche und infrastrukturelle Grundlage dafür geschaffen, dass die Bundesregierung nunmehr in der Lage ist, den nachhaltigen Umbau der Energieversorgung Deutschlands auf der Basis des Energiekonzepts der Bundesregierung anzugehen und auf unvorhergesehene Entwicklungen reagieren zu können.

Das BMBF fördert gezielt Grundlagenentwicklung in dem Bewusstsein, dass Grundlagenforschung und angewandte Forschung zwei Seiten einer Medaille darstellen und eng miteinander verwoben sind. Eine erfolgreiche Innovationsförderung muss alle Glieder der Innovationskette und die zunehmende Multi- und Transdisziplinarität der Energieforschung im Blick haben. Grundlagenforschung behandelt beispielsweise Fragen zur Elektrochemie, Festkörperphysik, Licht-Materie-Wechselwirkung, zu Simulationen und Materialeigenschaften. Oder entwickelt neue Methoden und Instrumente zur Prozessbeschreibung und Zustandserhebung.

Von besonderem Gewicht ist zudem die wirksame Vernetzung von Forschungsgebieten mit Energierelevanz, die für Fortschritte im Bereich der Grundlagenforschung wichtig sind (Materialforschung, Nanotechnologie, Lasertechnologie, Mikrosystemtechnik, mathematische Modellierung). Die Förderaktivitäten des BMBF im Bereich der Querschnittstechnologien werden deshalb mit den Förderinitiativen des Energieforschungsprogramms eng verknüpft.

Stärkung der Grundlagenforschung durch gesellschaftswissenschaftliche Forschungsansätze

Das BMBF nimmt Forschungsansätze aus dem Bereich der Gesellschafts- und Geisteswissenschaften in das Energieforschungsprogramm auf, weil eine allein technologisch orientierte Forschung der Wechselwirkung von Mensch und Technik nicht gerecht wird und den Akzeptanzaspekt bei der Umsetzung neuer Technologien nicht hinreichend würdigt. Damit wird die anwendungsnahe Forschung der Ressorts unterstützt.

Der Erfolg bei der Umsetzung neuer Technologien im Energiebereich wird maßgeblich davon abhängen, ob und in welchem Umfang es uns gelingt, technologische mit wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen zu verknüpfen. Deshalb müssen zukünftige Forschungsfördermaßnahmen verstärkt wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Aspekte aufgreifen. Das BMBF wird sich daher mit Methoden und Verfahren befassen, die für Beantwortung von Akzeptanzfragen, die Schaffung größerer Transparenz bei der Einführung und Verbreitung neuer Energietechnologien sowie das

Nutzungs- und Nachfrageverhalten wichtig sind. Die Forschungsförderung des BMBF erfolgt parallel zu den Analysen politischer, soziologischer, ökologischer und ökonomischer Rahmenbedingungen zur Querschnittsforschung der anderen Ressorts.

Alternative Lösungswege und neue Optionen für die Zukunft der Energie

Der Ausstieg aus der Kernenergie zeigt, wie wichtig es ist, dass Energieforschung eine breite Palette von Optionen bereitstellt, damit auch bei sich verändernden Rahmenbedingungen die Energieversorgung sichergestellt werden kann.

Daher ist es wichtig, Vorsorge dafür zu treffen, dass alternative Lösungswege und -konzepte rechtzeitig zur Verfügung stehen.

Der Umbau des Energieversorgungssystems in Deutschland wird eine Vielzahl von derzeit nicht bekannten und auch nicht vorhersehbaren Fragestellungen aufwerfen, die nur auf der Basis soliden Wissens in kalkulierbaren Zeiträumen gelöst werden können.

Aus diesem Grund wird das BMBF im Rahmen des Energieforschungsprogramms ein sogenanntes „Energietechnologie-Radar“ etablieren, um Fortschritte im Bereich der Grundlagenforschung frühzeitig identifizieren zu können und Anknüpfungspunkte zur anwendungsnahen Forschung zu schaffen.

Darüber hinaus soll neuen Ideen sowie unkonventionellen Konzepten im Bereich der Energieforschung eine Chance gegeben werden, denn viele äußerst erfolgreiche Innovationen sind außerhalb des Mainstreams entstanden. Das BMBF hält hierfür mit der „Ideenwerkstatt Energie“ ein neues flexibles Instrument der Forschungsförderung vor. Mit diesem Instrument sollen im Bereich der Energieforschung neue Ideen mit erheblichem zeitlichen Vorlauf oder solche, die im konventionellen Bereich noch keine Berücksichtigung gefunden haben, identifiziert und aufgegriffen werden.

Systemische Vorgehensweise

Das BMBF wird aktuelles Wissen zum Umbau des Energiesystems durch gezielte Forschungsförderung zur Verfügung stellen. Darüber hinaus wird es Beiträge zur Ermittlung des zukünftigen Forschungsbedarfs leisten, die erforderlich sind, um die Ziele des Energiekonzeptes im zeitlichen Rahmen zu erreichen. Das komplexe Umfeld der technisch-wissenschaftlichen, aber auch der politischen, sozialen, wirtschaftlichen und kulturellen Zusammenhänge ist dabei zu berücksichtigen.

Das BMBF wird die Entwicklung von Verfahren und Methoden unterstützen, die eine kontinuierliche Systemanalyse erlauben. Ein wichtiges Element der Systemanalysen ist insbesondere die Szenarienentwicklung, um eine begleitende und kontinuierliche Forschung zu ermöglichen, die frühzeitig Fehlerquellen und Defizite aufspüren hilft. Auf diesem Gebiet stimmt sich das BMBF eng mit den anderen Ressorts ab.

Forcierter Fortschritt durch Wissens- und Technologietransfer

Das BMBF wird gezielt den Dialog mit den Akteuren des Innovationsprozesses suchen, um frühzeitig Bedarfe im Energiesektor in die Grundlagenentwicklung einfließen lassen zu können. Umgekehrt soll ermöglicht werden, dass Ergebnisse aus der Forschung in die industrielle Entwicklung in enger Zusammenarbeit mit den anderen Ressorts schnellstmöglich einfließen. Wissenschaftliche Erkenntnisse dürfen nicht darauf warten, „im Bücherregal“ entdeckt zu werden, sondern müssen aktiv und so frühzeitig wie möglich in den Innovationsprozess eingebracht werden.

Mehr Kraft für die Forschungsförderung

Die Grundlagenforschung des BMBF umfasst sowohl die Projektförderung als auch zentrale Teile der institutionellen Förderung.

Die Bundesregierung strebt an, die institutionelle Förderung noch stärker als bisher mit der Projektförderung zu vernetzen und an den Zielen des Energiekonzeptes zu orientieren. Das BMBF wird dies für die Grundlagenforschung forcieren. Dazu ist u. a. die Neuausrichtung der programmorientierten Förderung der HGF im Energiebereich im Wege der Formulierung konkreter forschungspolitischer Vorgaben notwendig, bei der sich die betroffenen Ressorts abstimmen.

Nachwuchsförderung: Grundlagen für zukünftige Spitzenleistung

Für das BMBF stellt die Nachwuchsförderung eine zentrale Aufgabe dar. Die kontinuierliche Ausbildung von Fachkräften ist von entscheidender Bedeutung für die Zukunft des Standorts Deutschland.

Das BMBF hat mit dem Pakt für Forschung und Innovation sowie der Exzellenzinitiative die Weichen für eine exzellente Nachwuchsförderung gestellt.

Schon jetzt bilden die geförderten Forschungseinrichtungen die entscheidende Basis für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Bereich der Energieforschung. Ein exzellentes Beispiel ist die „KIT School of Energy“, die Studierenden, Promovierenden und Berufstätigen die Möglichkeit gibt, Probleme einer nachhaltigen und zukunftsfähigen weltweiten Energieversorgung zu identifizieren, zu verstehen und zu lösen.

Der thematischen Vernetzung von Universitäten und Fachhochschulen mit Forschungsinstituten und weiteren Akteuren der Energielandschaft kommt eine zentrale Rolle zu. Hier kommen auch spezielle Förderinstrumente wie z. B. Graduiertenkollegs, der Aufbau von Nachwuchsarbeitsgruppen oder spezielle Programme (z. B. „Forschung an Fachhochschulen“) zum Einsatz.

Das BMBF fördert den wissenschaftlichen Nachwuchs auch im Bereich der „Nuklearen Sicherheitsforschung“. Dadurch leisten wir einen wichtigen Beitrag zum Kompetenzerhalt in Deutschland und weltweit, zur Gewährleistung von Sicherheit bei Betrieb und Rückbau sowie der Beurteilung technischer Entwicklungen.

Lernendes Programm

Die Förderinitiativen des BMBF sind – wie das gesamte Energieforschungsprogramm – bewusst als offenes und lernendes Forschungsprogramm angelegt (vgl. Kapitel 1).

Dieser Ansatz bietet hinreichende Flexibilität für die notwendige, kontinuierliche Aktualisierung und thematische Ergänzung der Forschungsagenda. Das BMBF wird bei Weiterentwicklungen und Veränderungen in der Akzentsetzung des Programms den Dialog mit Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft systematisch in Form von regelmäßig stattfindenden Agendaprozessen zu Fragen der Grundlagenforschung suchen.

Vernetzung mit anderen energierelevanten Initiativen des BMBF

Das BMBF greift energierelevante Themen auch außerhalb des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung in eigenen Fach- und Rahmenprogrammen auf. Von Bedeutung sind hier u. a.:

- → nachhaltige Mobilitätskonzepte, mit den Schwerpunkten Batterieforschung, Energiemanagement im Elektrofahrzeug sowie Aus- und Weiterbildung,
- → die Aktionsfelder „Nachwachsende Rohstoffe“ und „Biomasse“ in der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“,
- → die sozial-ökologische Forschung (SOEF), CO_2-Verwertungsansätze sowie Ressourceneffizienz im Rahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“,
- → die IKT-, Werkstoff-, Material- und Produktionsforschung und
- → das Geotechnologien-Programm.

6.2 Handlungsbedarfe

Der geplante nachhaltige Umbau der Energieversorgung in Deutschland bis zum Jahre 2050 wirft Fragen und Probleme auf, die sowohl im wissenschaftlich-technologischen Bereich als auch im wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Bereich liegen. Insoweit besteht die Erfordernis, Energieforschung in einem ganzheitlichen Kontext zu gestalten. Unverzichtbar ist dabei auch eine Einbindung in den Zielekatalog der gemeinsamen europäischen Energiepolitik.

Im Rahmen seiner Zuständigkeit richtet das BMBF seine Forschungsförderung an folgenden, definierten Handlungsfeldern aus:

Integration Erneuerbarer Energien in das bestehende Energiesystem

Die Bundesregierung hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 80 % des Strombedarfs aus erneuerbaren Quellen zu decken. Dies setzt einen umfassenden Umbau des gesamten Energiesystems und insbesondere der Energieversorgungsnetze voraus.

Die Umstellung der Energieversorgung auf regenerative Energiequellen bedeutet, dass das Stromnetz für Einspeisungen mit dezentralen Einspeiseorten und fluktuierender Leistung ausgelegt sein muss.

Die hierfür erforderlichen Technologien stehen derzeit nur teilweise zur Verfügung. Unter der Voraussetzung, dass der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in dem geplanten Umfang zunimmt, jedoch der Ausbau der Netze hinter den Erwartungen zurückbleibt, besteht die Gefahr, dass mittel- bis langfristig die Versorgungssicherheit gefährdet ist. Die Grundlagenforschung im Bereich der Energiespeicher muss deshalb gestärkt und der Ausbau entsprechender Infrastrukturen forciert werden (vgl. hierzu auch Kapitel 2).

Intensive Forschung wird hier Technologien hervorbringen, die Folgendes ermöglichen:

→ Gewährleistung der Versorgungssicherheit, indem Energieüberschüsse aus schwankender Energieerzeugung durch Wind und Sonne abgenommen und gespeichert werden und gespeicherter Strom bereitgestellt wird, wenn der Bedarf die aktuelle Produktion übersteigt.

→ Einsparung von Kraftwerken, indem kurzzeitiger hoher Energiebedarf (sogenannte Lastpeaks) nicht durch neue Umwandlung von Energie ausgeglichen werden muss, sondern gespeicherte Energie aus Zeiten von Energieüberschuss (starker Wind, geringer Bedarf) zur Verfügung gestellt wird.

Umsetzung von Grundlagenwissen in technologische Lösungen

An deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen werden zahlreiche erfolgversprechende Forschungsergebnisse erzielt, deren kommerzielle Umsetzung nicht immer erfolgt. Die Ursachen hierfür sind vielfältig: Bisweilen fehlt es an Know-how für die Vermarktung. Zudem liegen oftmals keine Analysen zu wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen vor. Hierzu zählen auch Umsetzungsrisiken neuer Technologien in die Wertschöpfungskette. Das BMBF schafft deshalb Anreize, Grundlagenergebnisse kontinuierlich im Kontext des Energiesystems zu bewerten und zu ordnen sowie mit den Bedarfsträgern abzustimmen. Hierzu gehört auch die direkte Einbindung von Kompetenzen zum Technologietransfer in die Grundlagenforschung.

Bereitstellung von Systemanalysekapazitäten

Der Umbau des Energiesystems ist mit vielen Unwägbarkeiten verbunden. Bisher ist grundlegendes Systemwissen nur unzureichend vorhanden, das eine Beurteilung der technischen, sozialen, politischen, kulturellen und wirtschaftlichen Wechselwirkungen des Umstellungsprozesses im Hinblick auf künftige Forschungs- und Technologiebedarfe ermöglicht. Die Ergebnisse dieser systematischen Betrachtungen werden über das geplante zentrale Informationssystem der Bundesregierung Wirtschaft und Politik als Entscheidungsgrundlagen an

die Hand gegeben. Um die Herausforderungen zu meistern, vor die der Umbau der Energieversorgung die Bundesrepublik Deutschland und die Staaten der europäischen Gemeinschaft stellt, müssen alle verfügbaren Expertisen gebündelt, Wissen und Erfahrung optimal genutzt und Lösungsoptionen gemeinsam unter Berücksichtigung aller relevanten Systemaspekte bewertet werden. Das BMBF wird dazu im Rahmen seiner Zuständigkeit seinen Beitrag leisten.

Koordinierte und konzertierte Forschungsförderung

Das BMBF strebt bei der Umsetzung der eigenen Förderschwerpunkte im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms verstärkt eine enge, ressortübergreifende, wenn eben möglich konzertierte Forschungsförderung in möglichst vielen Förderbereichen an.

6.3 Grundlagenforschung Energieeffizienz

Im Kontext der Klimaproblematik und der Verknappung fossiler Brennstoffe wird der Ausbau der Erneuerbaren Energien präferiert. Um dem steigenden Energiebedarf zu begegnen, gilt es daneben, Energie effizienter einzusetzen, um den Verbrauch zu reduzieren, ohne dabei auf Lebensqualität verzichten zu müssen. Die Maßnahmen reichen von modernen regenerativen und fossilen Kraftwerken über energieeffiziente Motoren, Haushaltsgeräte und Industrieprozesse bis zur Gebäudesanierung. Viele Technologien stehen bereits zur Verfügung und können daher den Ausstieg aus der Kernenergie unterstützen. Weiterführende Optionen müssen für die Zukunft erforscht werden.

Im Bereich der Forschung müssen neue Effizienzpotenziale identifiziert und Konzepte zur Nutzung entwickelt werden, um Effizienzpotenziale möglichst vollständig auszuschöpfen. Priorität hat dabei kurzfristig der effiziente Verbrauch elektrischer Energie. Die Ausrichtung der Forschungsförderung orientiert sich an der Erzielung größtmöglicher Effizienzsteigerungen in der Industrie sowie im Gebäude- und Verkehrsbereich. Energieforschungspolitik und intelligente Ressourcenpolitik gehen Hand in Hand. Energieforschung zur Verbesserung der Energieeffizienz bedarf in besonderer Weise einer engen Verzahnung von Grundlagenforschung und angewandter Forschung. Das BMBF engagiert sich im Rahmen seiner Zuständigkeit zum Teil innerhalb und zum Teil auch außerhalb des Energieforschungsprogramms (siehe auch Kapitel 3.1). Wichtige Themen sind:

- → Im industriellen Sektor liegen nach wie vor enorme Einsparpotenziale. Die Forschung zielt auf eine Analyse der gesamten Prozesskette. Daraus sind innovative Logistik- und Produktionskonzepte abzuleiten. Im gezielten Einsatz von Schlüsseltechnologien – etwa neuer oder verbesserter Materialien und Prozesse oder Elektromotoren – liegen erhebliche Effizienzpotenziale, die es zu nutzen gilt (z. B. energieeffizienter Leichtbau). Materialinnovationen bieten ein hohes Potenzial, industrielle Prozesse auf allen Wertschöpfungsebenen mit erheblich höherer Leistung bei gleichzeitig reduziertem Ressourceneinsatz zu realisieren. Zur Energie- und Ressourceneffizienz wird die Grundlagenforschung auf diesem Weg signifikante Beiträge leisten.

- → Im Gebäudebereich brauchen Heizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung, Ventilation und IT zu viel Energie. Die Forschung nimmt diese Herausforderung an und hat die Entwicklung neuer Energieversorgungssysteme sowie die grundlegende Entwicklung neuer Technologien, Komponenten und Materialien (z. B. im Bereich LED und organische LED) als Ziel. In diesem Bereich kommt auch der sozio-ökologischen Forschung (SÖF) eine große Bedeutung zu. Es gilt, sinnvolle Anreize zu entwickeln, damit Effizienzgewinne die Verbraucher nicht zu mehr Energieverbrauch animieren (Rebound-Effekt), und die Wirkung von regulatorischen bzw. informatorischen Maßnahmen zu untersuchen.

- → Im Verkehrssektor werden bisher überwiegend fossile Brennstoffe genutzt. Im Rahmen der „Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie“ der Bundesregierung werden die mittel- und langfristigen Potenziale fossiler und alternativer Kraftstoffe sowie innovativer Antriebstechnologien für den Verkehrsbereich ermittelt. Um wertvolle Rohstoffe zu schonen und die CO_2-Emissionen zu senken, liegt ein Schwerpunkt von Forschung und Entwicklung auf dem Thema Elektromobilität (Batterie- und Brennstoffzellentechnologie), alternative Antriebs- und Fahrzeugkonzepte sowie auf der Optimierung des Gesamtverkehrssystems. Erhebliches Einsparpotenzial elektrischer Energie jenseits technologischer Innovation liegt zudem in der Veränderung von Verbraucherverhalten.

- → Energieeffizienz ist eng verknüpft mit Ressourceneffizienz. Energieintensive Unternehmen sind besser in die Lage zu versetzen, ihre jeweiligen Produktionsprozesse energieeffizienter zu gestalten und gleichzeitig innovative und weltmarktfähige Produkte zu entwickeln, herzustellen und zu betreiben. Forschungsbedarf ergibt sich bei der Entwicklung einer energieeffizienten Fertigungs- bzw. Verfahrenstechnik und bei der Entwicklung der dazu notwendigen Maschinen- und Anlagentechnik. In Bezug auf chemische Prozesse ist die Erforschung geeigneter Katalysatoren meist der Hebel, Energie in erheblichem Maße einzusparen.

6.3.1 Die CO_2-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt

Das Zukunftsprojekt „Die CO_2-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt“ der Hightech-Strategie ebnet beispielgebend den Weg in eine CO_2-neutrale Gesellschaft. Städte und Kommunen haben eine zentrale Rolle beim Umbau der Energieversorgung. Als Anbieter und Verbraucher sind sie Keimzelle und Motor insbesondere beim Aufbau dezentraler Strukturen.

In diesem Schwerpunkt werden Konzepte und deren Validierung gefördert, die es Kommunen, Städten und Gemeinden bereits bis zum Jahr 2020 ermöglichen sollen, CO_2-neutral zu werden. Ziel sind mindestens 30 CO_2-neutrale Kommunen in Deutschland.

Ergebnisse der Grundlagenforschung werden hierbei Beiträge zu folgenden Aspekten leisten: Integration von Energie- und Effizienztechnologien, Planungs- und Bilanzierungsinstrumente, Marktanreize für neue Dienstleistungen, neue Finanzierungsmodelle, z. B. bei der Gebäudesanierung und Überprüfung von Genehmigungsverfahren.

Um Synergien der Grundlagenforschung mit der anwendungsnahen Forschung im Rahmen verwandter Förderbereiche zu nutzen, plant die Bundesregierung eine ressortübergreifende Initiative „Solares Bauen – Energieeffiziente Stadt“, die im Kapitel 2 beschrieben ist.

6.3.2 Klimaschutz: Intelligenter Umgang mit CO_2

Eine moderne Energieforschungspolitik betrachtet alle technologischen Optionen. Dabei gilt es, Wege im Einklang von öffentlicher Meinung, Forschungsinteressen und wirtschaftlichen Chancen zu finden. Hier ist insbesondere der intelligente Umgang mit Kohlenstoffdioxid zu nennen.
Langfristig ist unser Ziel eine CO_2-neutrale Energieversorgung. In vier Bereichen werden Beiträge zur Erreichung dieses Zieles geleistet:

(1) Neue Vermeidungsstrategien

Erneuerbare Energien werden ausgebaut, wodurch weniger fossile Brennstoffe zur Deckung unseres Energiebedarfs notwendig sind und weniger CO_2 emittiert wird. In mobilen Anwendungen bieten kohlenstofffreie Energieträger (wie Wasserstoff) oder aus erneuerbarem Strom gewonnenes Methan das Potenzial, fossile Kraftstoffe abzulösen. Entscheidend ist, dass diese Energieträger CO_2-neutral bereitgestellt werden.

(2) Geschlossene Kohlenstoffkreisläufe

Nur wenn CO_2 als einzige Quelle zur Produktion von kohlenstoffhaltigen Kraftstoffen *(„carbon fuels“)* verwendet wird, können diese Kraftstoffe klimaneutral genutzt werden. Dies kann zum Beispiel auf Bioenergie zutreffen. Pflanzen nehmen in der Photosynthese

CO_2 auf, aus dem sie Biomasse „produzieren". Gelingt es, diese Biomasse oder daraus hergestellte Kraftstoffe zur Energiegewinnung zu nutzen, ist das frei werdende CO_2 klimaneutral.

(3) Zukunftsweisende Nutzungsoptionen

Der Kohlenstoffkreislauf ist nicht auf den Energiebereich beschränkt. Fossile Rohstoffe werden z. B. in großem Umfang als Ausgangsstoff in der chemischen Industrie eingesetzt. Zum einen ist das Wertschöpfungspotenzial von CO_2 weiter zu erschließen, z. B. als chemischer Baustein, aus dem Rohstoffe für die Industrie hergestellt werden können. Die Vernetzung von Energiebereitstellung und stofflicher Nutzung bietet großes Potenzial. Daher kann zum anderen die heimische Braunkohle, nachdem sie nicht mehr als Energieträger genutzt wird, als Rohstoff dienen. Entsprechende Vorbereitungen für eine CO_2-arme Kohlechemie sind daher notwendig.

(4) Speicherung

Es muss diskutiert werden, den CO_2-Ausstoß fossiler Kraftwerke und energieintensiver Industrieanlagen drastisch zu senken. Die Speicherung von abgeschiedenem CO_2 *(Carbon Capture and Storage, CCS)* bietet hierzu eine Option. Nach den erfolgversprechenden Arbeiten am CO_2-Testspeicher Ketzin und mit den Ergebnissen aus standortunabhängigen Forschungsarbeiten (u. a. zu den chemischen Reaktionen des CO_2 mit seinen Umgebungsgesteinen) muss die Forschung vor allem auf Pilot- und Demonstrationsstandorte ausgeweitet werden, damit belastbare Aussagen für großskalige Vorhaben hinsichtlich der Prozesse im Untergrund, der dauerhaften Sicherheit der Speicher und der Machbarkeit getroffen werden können. Diese Ergebnisse sind entscheidend für die Beurteilung über den Einsatz der Technologie in der Zukunft.

6.3.3 Ausrichtung von Querschnittsaktivitäten auf prioritäre Anwendungsbereiche

Grundlagenforschung im Bereich der Querschnittstechnologien umfasst neue Materialien und Werkstoffe, Nanotechnologien, Informations- und Kommunikationstechnologien und Umwelttechnik. Forschungsergebnisse aus diesen Bereichen werden insbesondere auf folgenden Feldern der Energieforschung wichtige Impulse geben:

→ **Gebäudebereich:** Neue Materialien zur Dämmung, dünne, belastbare und transparente Materialien zum Einsatz von Photovoltaik an Fassaden und Fenstern, Mikrosystemtechnik zur Integration energieautarker Mikrosysteme.

→ **Stromnetze:** Informations- und Kommunikationstechnologie zur Realisierung von intelligenten Netzen (z. B. Anpassung von Stromverbrauch an das Angebot).

→ **Photovoltaik:** Nanotechnologie für neue Strukturen bei Grenzflächen, um Licht möglichst effizient einzukoppeln; Einsatz von optischen Technologien zur Umsetzung der Nanostrukturierung, Produktionstechnologie.

→ **Windenergie:** Neue Werkstoffe für Windkraftanlagen, Informations- und Kommunikationstechnologie zur Steuerung von Offshore-Windkraftanlagen.

→ **Thermische Speicher:** Neue Materialien und Werkstoffe als Basis für neue Technologien (z. B. Hochtemperaturwerkstoffe), Wärmeüberträgermedien.

→ **Chemische Speicher:** Neue Materialien und Prozesse zur Wasserspaltung (die sich für intermittierenden Betrieb eignen).

6.4 Grundlagenforschung Erneuerbare Energien

Die Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung erfordert interdisziplinäre Grundlagenforschung in erheblichem Umfang. Die Forschung wird breit aufgestellt, um möglichst viele Optionen für energiepolitische Entscheidungen bereitstellen zu können. Die Förderung des BMBF im Bereich Erneuerbare Energien ergänzt die anwendungsorientierte Forschungsförderung des BMU.

Die Grundlagenforschung

- schafft die Wissens- und Technologiebasis, um Lösungen für den Weg in das Zeitalter der Erneuerbaren Energien zu finden,
- entwickelt zusätzliche Lösungsalternativen, mit denen unvorhergesehenen Entwicklungen begegnet werden kann,
- liefert Ideen für eine Weiterentwicklung oder auch Substitution marktgängiger Technologien, Verfahren und Prozesse,
- verbessert das grundlegende Verständnis von energieübertragenden Prozessen auf molekularer Ebene, da solche Prozesse fast allen Energietechnologien zugrunde liegen. Grundlagenforschung zu diesen Themen bildet die Basis für die Optimierung bestehender Verfahren und die Entdeckung und Entwicklung ganz neuer Technologien.

6.4.1 Neue Techniken und Lösungen für den Netzausbau

Der Ausbau der Energienetze (insbesondere der Stromnetze) schafft die Voraussetzung für weiter steigende Anteile der Erneuerbaren Energien im Energiemix. Fragestellungen zur Energieübertragung, -verteilung und -speicherung in einem Energienetz mit dezentraler sowie zeitlich fluktuierender Energieeinspeisung sind zu lösen. Die Reduktion von Übertragungs- und Umwandlungsverlusten sowie die Gewährleistung von Wettbewerb, Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität bilden künftige Herausforderungen. Unter anderem wird die Grundlagenforschung zur Entwicklung von verlustarmen Netzkonzepten gefördert, die es erlauben, auf Schwankungen und Störungen flexibel zu reagieren.

Intelligente Netze bringen fluktuierende Erneuerbare Energiequellen und natürliche Nachfrageschwankungen in Einklang. Zur Realisierung sind auch weitere Forschungsanstrengungen der Grundlagenforschung im Bereich Optimierung der Nachfragesteuerung *(„Demand Side Management“)* sowie des Einsatzes von Informations- und Kommunikationstechnologien notwendig. Der Bedarf an Energie soll so gesteuert werden, dass die Bürgerinnen und Bürger in ihren Verbrauchsgewohnheiten nicht eingeschränkt werden. Ein Kühlschrank der neuen Generation nutzt dann z. B. bevorzugt Energie, wenn sehr viel Energie im Netz zur Verfügung steht, also wenn z. B. starker Wind weht.

Die Förderung der Grundlagenforschung erfolgt im Wesentlichen im Rahmen der ressortübergreifenden Forschungsinitiative „Netze“ (vgl. Kapitel 2). Förderschwerpunkte umfassen die Bereiche Komponenten, Netzauslegung sowie Sicherheit und gesellschaftliche Aspekte:

Komponenten

- Neue Leitermaterialien, neuartige Kernmaterialien, innovative Isolationsverfahren,
- Entwicklung und Erprobung neuer kabelloser Übertragungstechniken,
- Entwicklung und Erprobung neuer hochtemperatursupraleitender Materialien mit hoher Strombelastbarkeit, verbesserter Performance und Kostenreduktion.

Netzauslegung

- Weiterentwicklung von Analysemethoden des Netzausbaubedarfs, Einsatz dynamischer Modelle, Einbindung geografischer Informationssysteme, neuartige Modellierungsverfahren,
- Netzauslegung für fluktuierende Energieeinspeisung in Hinblick auf Energieeffizienz und Netzstabilität, ganzheitliche Modellbildung der technischen Funktionsweise des Smart Grids.

Sicherheit und gesellschaftliche Aspekte

- Begleitende wissenschaftliche Untersuchungen zu gesellschaftlichen Auswirkungen eines verstärkten Netzausbaus,

- → Entwicklung von Vermeidungsstrategien zum Einsatz seltener Ressourcen im Netz- und Komponentenbereich.

In Ergänzung der anwendungsnahen Forschung sind Beiträge der Grundlagenforschung auch zu folgenden Bereichen vorgesehen:

- → Dynamisierung von Übertragungskapazitäten, wie dem Betrieb an der physikalischen Grenze, Hochtemperaturfreileitungsseilen und dem Freileitungsmonitoring,

- → Verlustreduktion bei Transport (Leitungstechnik) und Umspannung (Leistungselektronik).

6.4.2 Speicher für mehr erneuerbaren Strom

Energiespeicher ermöglichen die Entkopplung von Stromerzeugung und -nutzung. Energie, die nicht genutzt werden kann, wird gespeichert und in Zeiten von hohem Bedarf (sogenannten *Lastpeaks*) wieder eingespeist. Auf diese Weise wird Versorgungssicherheit bei reduziertem Kraftwerkspark möglich.

Die Entwicklung neuartiger Speichertechnologien und -konzepte hat daher höchste Priorität. Dabei sind alle Varianten und Kombinationen auszuschöpfen. Aktuell sind dies elektrische, thermische, mechanische und stoffliche Speichertechnologien. Kernaufgabe der Grundlagenforschung ist die Erweiterung und Verbesserung der grundlegenden Verständnisse der Speicherprozesse.

In allen Technologiebereichen wird die Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte und Innovationen mit dem Ziel gefördert, die Speichereffizienz zu erhöhen, die Kosten zu reduzieren und passende Speicher für jedes Einsatzgebiet zur Verfügung zu haben. Aus heutiger Sicht erscheinen z. B. stoffliche Speicher (wie Methan oder Wasserstoff) vielversprechend für eine saisonale Speicherung.

Unter anderem werden folgende Themen adressiert:

- → Fortschritte im Bereich der Elektrochemie werden zu effizienteren Konversionsprozessen (Speicherung und Verstromung) bei elektrischen und stofflichen Speichern führen. Die Untersuchung von Reaktionen an Grenzflächen ist hier fundamental. Erkenntnisse aus diesem Bereich können auch zur Entwicklung einer flexibleren Prozessführung genutzt werden.

- → Ein detailliertes Verständnis thermochemischer Mechanismen und die Entwicklung thermisch stabiler Elektroden sind Voraussetzung, um Schnellladefähigkeit und Sicherheit elektrischer Speicher zu realisieren.

- → Neue Materialien können zur Verbesserung zahlreicher Anwendungen führen. So versprechen beispielsweise Phasenwechselmaterialien höhere Speicherdichten von thermischen Speichern und der Einsatz von organischen Materialien im Elektrolyten höhere Zellspannungen und Energiedichten in Redox-Flow-Batterien.

- → Ein weiterer wichtiger Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von Simulationsverfahren für die Verwendung von Speichern im Stromnetz. Es gilt hier u. a., systemanalytische Untersuchungen zu den Wechselwirkungen der Strom- und Gasnetze unter Berücksichtigung von Speichern mit Umwandlung der Energieform durchzuführen.

Aufgrund der strategischen Bedeutung der Energiespeicherung für das zukünftige, auf erneuerbaren Energien basierende Energiesystem gibt es hierzu auch eine ressortübergreifende Förderinitiative (siehe Kapitel 2).

6.4.3 Photovoltaik: Strom aus Sonnenenergie

Die Grundlagenforschung umfasst sowohl Projekte im Bereich Silicium-Wafer- und Dünnschichttechnologie als auch in der organischen Photovoltaik. Hauptziele sind allgemein die Erhöhung des Wirkungsgrades (Stichwort: Solarzellen der dritten Generation) und der Lebensdauer (z. B. Verkapselung organischer Solarzellen) sowie die Entwicklung kostensenkender Verfahren über die gesamte Wertschöpfungskette.

Die grundlegenden wissenschaftlichen Herausforderungen liegen in dem Verständnis der Licht-Materie-Wechselwirkungen und der Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie.

Folgende Aspekte stehen im Fokus:

- → Optimierung von Lichteinkopplung und Photonenmanagement,
- → Optimierung der Absorption z. B. durch hochstrukturierte Absorber und Nanostrukturen (Solarzellen der dritten Generation),
- → Entwicklung moderner Zellkonzepte, wie der Entwicklung von Stapelsolarzellen, die eine optimale Ausnutzung des solaren Spektrums ermöglichen,
- → Verständnis von Degradationsmechanismen und Entwicklung von Vermeidungsstrategien,
- → eine Kombination von Simulationen und physikalischen Analysen.

Dieses Wissen schafft die Grundlage für zukünftige Weiterentwicklungen. Neue Materialien, verbessertes Photonenmanagement sowie optimierte Herstellungsprozesse werden zur Senkung der Kosten, zu einer Steigerung des Wirkungsgrads und letztlich dem Erreichen der Netzparität beitragen. Hiervon wird der Photovoltaik-Markt neue Impulse erhalten. Das Landschaftsbild wird sich durch diese Entwicklungen nicht ändern. Aber der Nutzen der Photovoltaik für Bürgerinnen und Bürger wird steigen. Jedes moderne Photovoltaikmodul wird bei gleicher Flächennutzung mehr Strom produzieren und somit zum Gelingen der Energiewende beitragen. Mit der organischen Photovoltaik werden zudem neue Anwendungsgebiete erschlossen. Flexible, leichte, semi-transparente Solarzellen werden neue Anwendungsmöglichkeiten in Gebäudefassaden, Fenstern und im mobilen Einsatz eröffnen.

6.4.4 Nutzung biologischer Ressourcen zur Energieerzeugung

Bioenergie kommt unter den erneuerbaren Energien ein besonderer Stellenwert zu, da mit ihr die Stromproduktion gezielt reguliert werden kann. Für Bioenergie ist daher eine geringere Speicherkapazität notwendig als für die fluktuierenden Energiequellen Sonne und Wind. Das quantitative Potenzial der Bioenergie muss hierbei systematisch analysiert werden. Unter anderem ist die Frage zu stellen, wie die Energiebilanz bei Verwendung von Importbiomasse aussieht.

Bioenergieforschung reicht von Biomasseproduktion über die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse und die Produktion von Biokraftstoffen bis zu systemischen Aspekten, wie der Nahrungsmittel-Konkurrenz, Übernutzung von Böden und Bioökonomie. Die Grundlagenforschung konzentriert sich auf die Untersuchung, Modellierung und Optimierung von Umwandlungsprozessen. Ziel ist es, die grundlegenden Prozesse zur Produktion von Biomasse (Zellmaterial), Biokraftstoffen (z. B. Methan/Wasserstoff) und von stofflichen Verbindungen (chemische Verbindungen für industrielle Prozesse) zu verstehen und auf einander abstimmen zu können. Die Ergebnisse tragen dazu bei, den Gesamtprozess zu optimieren. Auf diese Weise werden auch CO_2-Einsparungspotenziale optimal genutzt.

Weitere Schwerpunkte der Grundlagenforschung werden in folgenden Bereichen gesehen:

- → Screening von Mikroorganismen zur Erschließung neuer Substrate,
- → Untersuchung des Einflusses der Substrate auf Stoffwechsel- und Produktionswege. Auch der Einfluss auf Emissionen und die Energiebilanz ist hier zu thematisieren,
- → Verständnis der Entwicklung mikrobiologischer Lebensgemeinschaften unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen legt die Basis für die Prozessoptimierung,
- → Entwicklung innovativer Verfahren zum Recycling von Phosphor- und Stickstoff-Verbindungen.

Die Grundlagenforschung wird unter Berücksichtigung von Skaleneffekten und unter systemischen Gesichtspunkten vorangetrieben. Das schließt die

Forschung zu Nutzungspotenzialen im Hinblick auf die Belastung von Umwelt und Natur sowie Ernährung ein.

6.4.5 Weitere Potenziale der Windenergie erschließen

Windenergie leistet schon heute den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Im Zuge der beschleunigten Energiewende gilt es gezielt Grundlagenforschung zu fördern, die schnell Relevanz für die Anwendung entfalten kann. Hier liegen die kurzfristig wirkenden Schwerpunkte auf grundlegenden Materialentwicklungen, theoretischen Modellierungen sowie Techniken zur Ferndiagnostik und Reparatur. Damit sollen Beiträge zur Verringerung des Wartungsaufwands, zur Erhöhung der Zuverlässigkeit, zur Effizienzsteigerung und letztlich zur Kostensenkung geleistet werden. Dabei greifen die Forschungsförderung des BMBF und des BMU ressortspezifisch ineinander.

Im On- und Offshore-Bereich bestehen große Ausbaupotenziale, die kurz- bis mittelfristig genutzt werden können. Um langfristig neue Potenziale zu erschließen, werden innovative Konzepte gefördert, die sich noch in einem technologisch vorgelagerten Stadium befinden, wie etwa fliegende Windkraftanlagen.

Aufgrund des zu erwartenden großen Anteils der Windenergie für unsere zukünftige Versorgung ist es außerdem eine Aufgabe der Grundlagenforschung, Beiträge für Zukunftskonzepte für Windkraftanlagen zu entwickeln.

Folgende Förderschwerpunkte werden gesetzt:

- → Windphysik: Turbulenzforschung (groß-, meso- und kleinskalige Windturbulenzen),
- → Material:
  - – alternative Lösungen für die Anlagenkomponenten, mit denen sich die Abhängigkeit von knappen Ressourcen verhindern lässt (Naben, Rotor, Trag- und Gründungsstrukturen sowie für die Peripherie),
  - – verbesserte Materialien (z. B. Laminate, Harze, Metallverbünde).
- → Netzintegration: Entwicklung neuer Modellierungsansätze der Netzintegration von Windstrom (Leistungsfluktuation mit vielen Extremwerten).

6.4.6 Solarthermie, Photosynthese und Wasserkraft

Die Grundlagenforschung zielt darauf ab, technologische Alternativen verfügbar zu machen, die zum Gelingen der Energiewende beitragen können und die es uns in Zukunft erlauben, auf unvorhersehbare Entwicklungen zu reagieren. Hier sind u. a. folgende Bereiche zu nennen:

Thermische Solarenergienutzung, z. B. „concentrated solar power“ (CSP)

Sonnenenergie wird genutzt, um ein Trägermedium zu erhitzen, das anschließend für die Stromproduktion eingesetzt werden kann. In Solartürmen werden beispielsweise Flachspiegel der Sonne nachgeführt, um die Sonnenenergie auf die Spitze eines Turms zu bündeln. Dort werden sehr hohe Temperaturen (>1.000 °C) erreicht, die letztlich über Dampfproduktion zur Stromerzeugung in einer Turbine genutzt werden.

Schwerpunkte der Forschung sind allgemein in den Bereichen Kostensenkung und Effizienzsteigerung zu sehen. Fokus der Förderung im Grundlagenbereich ist auch hier in erster Linie die Materialforschung, aber auch die Entwicklung neuer Konzepte. Beispielsweise hat die Kopplung an einen zweiten Energieträger das Potenzial, einen Wirkungsgradabfall bei schlechten Witterungsbedingungen (oder sonnenarmen Standorten) zu vermeiden.

Photosynthetische Energiegewinnung

Die Photosynthese ist die Grundlage des Lebens auf unserer Erde. Pflanzen nutzen in ihren Blättern Sonnenenergie für den Aufbau von Zuckern, die das Wachstum ermöglichen. Als Nebenprodukt entsteht Sauerstoff, der uns erlaubtv zu atmen. Forscher

arbeiten daran, den Photosynthese-Apparat im Detail zu verstehen und nutzbar zu machen.

Kernaufgabe ist das Verständnis der beteiligten Elementarprozesse zur Wasserspaltung. Eine weitere Aufgabe ist das Verständnis der beteiligten Proteine (in erster Linie Photosystem II), um langfristig eine industrielle Nutzung zu ermöglichen. Die Energiegewinnung kann beispielsweise durch die Kopplung von biomimetischem Nachbau an die Produktion von Wasserstoff oder Strom erfolgen, die in einer Art „biologischen" Solarzelle erfolgt.

Wasserenergie

Pumpspeicher-Kraftwerke stellen derzeit quasi die gesamte Speicherkapazität zur Verfügung. Steht bei starker Sonneneinstrahlung und starkem Wind viel Energie zur Verfügung, speichern sie Energie, die bei Bedarf wieder zur Verfügung steht. Wasserenergie wird in Zukunft auch durch andere technologische Konzepte genutzt werden können. Zum Beispiel könnten langsam laufende Rotoren kontinuierlich Strömungsenergie umwandeln und mit technologischem Fortschritt wird die Nutzung von Wellen- und Gezeitenenergie steigen. Außerdem könnten Kraftwerke an der Mündung von Flüssen ins Meer Energie aus den unterschiedlichen Salzgehalten nutzen. Grundlagenforschung kann helfen, das Potenzial unterirdischer Pumpspeicher (z. B. stillgelegter Bergwerke) zu erschließen.

6.5 Wissensbasierte Systemanalysen

Mit grundlegenden kontinuierlichen Systemanalysen, Technologie-Monitoring und Transformationsforschung ist es möglich, die gegenwärtige Situation und künftige Entwicklungen des gesamten Energiesystems abzubilden. Forschung schafft die Voraussetzung und Wissensgrundlagen, um Änderungen des Zusammenwirkens von technologischen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und regulatorischen Aspekten im Energiesystem zu verstehen und hierauf angemessen reagieren zu können. Dabei werden bei der Vorhersage einer sicheren Energieversorgung neben technologischen Entwicklungen auch die soziokulturellen Rahmenbedingungen einzubeziehen sein. Das BMBF wird dazu im Rahmen seiner Zuständigkeiten einen Beitrag leisten.

Systemanalysen und Ansätze der Transformationsforschung werden den technologischen Umbau der Energieversorgung kontinuierlich begleiten. Sie sollen der durch die erneuerbaren Energien erheblich gestiegenen Komplexität Rechnung tragen.

Es geht dabei um folgende Ziele:

- → Technologische und systemische Herausforderungen beim Umbau unseres Energiesystems frühzeitig zu identifizieren, Lösungswege zu entwickeln, daraus konkreten Bedarf an Grundlagen- und Vorsorgeforschung abzuleiten sowie Machbarkeit von Technologien auszuloten.
- → Vernetzungspotenziale und -notwendigkeiten in Wissenschaft und Wirtschaft sowie den Bedarf an thematischen Wissenschaftsnetzwerken aufzuzeigen und diese – in Abstimmung mit den forschungsfördernden Ressorts – effizient zu strukturieren.
- → Szenarien und Prognosen zu entwickeln, die die Auswirkungen des wachsenden Anteils erneuerbaren Quellen auf die Lebens- und Wirtschaftsbedingungen aufzeigen.

Im Rahmen kontinuierlicher Systemanalysen wird das BMBF parallel zu BMU und BMWi einen Energietechnologie-Radar zur Identifizierung grundlegender zukünftiger Forschungsbedarfe etablieren. Dadurch sollen grundlegende technologische Lücken aufgedeckt sowie neue technologische Optionen aufgespürt und bewertbar gemacht werden.

6.6 Energieforschung und Gesellschaft

Die Umsetzung der Energiewende setzt flexible Strategien voraus, die adaptiv auf die kurzfristigen Änderungen der weltweiten ökonomischen, sozialen, klimatischen und technologischen Rahmenbedingungen reagieren können.

Der notwendige permanente Transformationsprozess wird sich stärker als bisher auf das gesamte Spektrum von der Energieerzeugung bis zum Transport erstrecken und erhebliche Änderungen der Lebens-, Arbeits-, Konsum- und Produktionsweisen für den Bürger mit sich bringen.

Der langfristig angelegte Umbau unseres Energiesystems kann nur gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern gelingen.

An vielen Orten in Deutschland arbeiten Wissenschaftler an Technologien für eine nachhaltige Energieversorgung und einer Antwort auf die Klimaproblematik.

Neue Projekte und neue Technologien treffen oft auf mangelnde Akzeptanz in der Bevölkerung. Die Förderung des BMBF in diesem Bereich zielt darauf ab, die Ursachen und Faktoren hierfür aufzuzeigen sowie Methoden und Instrumente für eine transparente und Vertrauen schaffende Kommunikation mit dem Bürger in Technologiefragen zu entwickeln. Ein zentraler Aspekt der Forschungsförderung ist die Betrachtung der Relevanz kultureller Faktoren sowie tradierter Lebensweisen bei der gesellschaftlichen Bewertung neuer oder auch etablierter Energietechnologien.

Wissenschaftliche Expertise soll dazu genutzt werden, Methoden und Verfahren zu entwickeln, die darauf abzielen, Bürgerinnen und Bürger an energiewirtschaftlichen Entscheidungsprozessen zu beteiligen sowie deren zentrale Fragen im Bereich von Wissenschaft, Forschung und Technologie beantworten zu können. Umgekehrt soll ermöglicht werden, dass entsprechende Fragen und Wissensbedarfe frühzeitig in die Konzeption und Ausgestaltung von Förderinitiativen einfließen.

Für diese Zielsetzungen sind Konzeptionen für entsprechende Dialogverfahren und Kommunikationsplattformen zu entwickeln. Hierzu wird insbesondere das Instrument der „Bürgerdialog Studien“ erprobt und weiterentwickelt werden. Die Besonderheit der „Bürgerdialog Studien“ liegt darin, dass technologische Fragestellungen unter Berücksichtigung regionaler Randbedingungen sowie des Wissensbedarfes der beteiligten Interessengruppen unter Zuhilfenahme unabhängiger fachlicher Expertise beantwortet werden.

6.7 Nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung und Strahlenforschung

Durch die Geschehnisse in Japan vom März 2011 hat sich die objektive Sicherheitslage der deutschen Kernkraftwerke nicht verändert. Allerdings hat der Unfall in großen Teilen unserer Gesellschaft eine Neubewertung des akzeptablen Risikos ausgelöst und zu einer breiten Zustimmung zu einem beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland geführt.

Die nukleare Sicherheitsforschung wird kontinuierlich fortgesetzt. Das BMBF fördert mit seiner nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung die Ausbildung wissenschaftlichen Nachwuchses und trägt auf diese Weise dazu bei, dass Deutschland auch in Zukunft über die nötigen Experten und ausreichend Fachkompetenz verfügt, um:

- → Die Sicherheit des Betriebes deutscher Kernkraftwerke bis zum endgültigen Ausstieg der Kernenergie beurteilen sowie gewährleisten und laufend an den jeweils neusten Stand von Wissenschaft und Technik anpassen zu können.

- → Bei der Definition von internationalen Sicherheitsstandards und Regelwerken gestaltend Einfluss nehmen und damit deutsche Sicherheitsinteressen bei der Errichtung neuer Kernkraftwerke und anderer kerntechnischer Anlagen au-ßerhalb unserer Grenzen wahren zu können.

- → Endlagersysteme so zu entwickeln, dass eine langfristige Sicherheit erreicht wird. Dazu ist ein langfristiger Kompetenzerhalt notwendig. Neue Konzepte der Tiefenlagerung einschließlich der Rückholbarkeit und der oberirdischen Lagerung sind zu entwickeln.

Die Nachwuchsförderung des BMBF in der Reaktorsicherheits- und Entsorgungsforschung ist dabei eng mit der Projektförderung des fachlich verantwortlichen BMWi verknüpft. Vor dem Hintergrund des

deutschen Atomausstieges ist es mehr denn je erforderlich, Nachwuchsförderung nicht nur auf nationale Kooperationen zu beschränken.

Im Bereich der Reaktorsicherheit werden die wissenschaftlichen Grundlagen für die sicherheitstechnische Beurteilung des Betriebs von Kernreaktoren vertieft. Hierbei stehen vor allem physikalisch-mathematische Modellierungen sowie die Entwicklung neuartiger Diagnoseverfahren für die Bestimmung des Reaktorzustands im Vordergrund.

Im Bereich der Entsorgungsforschung geht es um die Entwicklung von Konzepten und Technologien für die Behandlung und Entsorgung unterschiedlichster radioaktiver Abfälle. Für die in Deutschland favorisierte Option der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen gilt es sicherzustellen, dass eine Mobilisierung der radioaktiven Substanzen weitgehend ausgeschlossen werden kann. Auch Teilschritte von Verfahren zur effektiven Abtrennung von langlebigen Radionukliden aus hochradioaktivem Abfall werden thematisiert. Dies gilt auch für den Rückbau kerntechnischer Anlagen.

Im Bereich der Strahlenforschung als weiterem Bestandteil der nuklearen Sicherheitsforschung wird durch die wissenschaftliche Arbeit in Verbundprojekten zu biologischen, biochemischen, medizinischen und radioökologischen Fragestellungen eine systematische und kontinuierliche Nachwuchsförderung sichergestellt, um das wissenschaftliche Niveau langfristig zu sichern und den zukünftigen Bedarf an Fachleuten mit hoher Kompetenz zu decken.

6.8 Fusionsforschung

Die Kernfusion bildet das Grundprinzip der Energieerzeugung der Sonne nach. Zwei leichte Wasserstoffisotope, Deuterium und Tritium, verschmelzen miteinander und setzen Energie und als Nebenprodukt das Edelgas Helium frei. Gelingt der Schritt in die Anwendung, wären die Vorzüge vielfältig: Der Brennstoff ist nahezu unbegrenzt verfügbar, der Prozess ist praktisch klimaneutral und es entsteht weniger und kurzlebigerer radioaktiver Abfall als in herkömmlichen Kernkraftwerken. Die Kernfusion ist eine Option für die langfristige Energieversorgung unserer Welt, die über die Zeiträume des Energiekonzeptes hinausreichen.

Die Fusionsforschung ist nicht Bestandteil des Energiekonzeptes der Bundesregierung, weil ihre Erforschung über den Zeitraum des Jahres 2050 hinausreichen wird. Verantwortungsvolle Forschungs förderung bedeutet daher aber auch, langfristige Entwicklungen im gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Bereich zu verfolgen. Vor diesem Hintergrund wird die Erforschung der Kernfusion gefördert. Werden die wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen bewältigt, könnte die Kernfusion einen wichtigen und grundlastfähigen Beitrag für die Energieversorgung der Zukunft liefern. Aus diesem Grund arbeitet Deutschland mit europäischen Partnern beim Aufbau des internationalen Forschungsreaktors ITER zusammen, der erstmalig mit einem brennenden Fusionsplasma im 500-MW-Bereich die Machbarkeit der Energiegewinnung aus Fusionsprozessen demonstrieren soll.

Zur technischen Realisierung der Kernfusion werden zwei Konzepte für den magnetischen Einschluss des Fusionsplasmas verfolgt: das Tokamak- und das Stellaratorprinzip. ITER beruht auf dem Tokamakprinzip. Mit dem Bau des weltweit größten und fortgeschrittensten Stellaratorexperiments, Wendelstein 7X, in Greifswald, soll insbesondere die Kraftwerkstauglichkeit dieses Anlagentyps demonstriert werden. Stellaratoren können anders als Tokamaks aufgrund ihres anderen magnetischen Einschlusskonzepts von vorneherein im Dauerbetrieb arbeiten, sind momentan aber noch nicht so gut erforscht.

6.9 Institutionelle Energieforschung

Das BMBF ist für wesentliche Teile der institutionellen Energieforschung federführend. Mit dem Pakt für Forschung und Innovation erhalten die Organisationen der gemeinsam geförderten Forschungseinrichtungen finanzielle Planungssicherheit und den nötigen Spielraum, um trotz steigender Kosten dynamische Entwicklungen weiter voranzutreiben. Durch institutionelle Förderung werden an den beteiligten Forschungseinrichtungen in Deutschland

einzigartige wissenschaftliche Arbeitsbedingungen geschaffen. Erst hierdurch wird die kontinuierliche Bearbeitung langfristiger und grundlegender Fragestellungen im Energiebereich möglich, die die Basis für eine nachhaltige Energieversorgung legen.

6.9.1 Institutionelle Förderung im Rahmen des Energieforschungsprogramms

Bei der institutionellen Energieforschung steht die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren im Vordergrund. Sie ist Teil des Energieforschungsprogramms (siehe auch Kapitel 3.2.4). Allein die institutionelle Förderung der HGF durch das BMBF beläuft sich im Energiebereich jährlich auf rund 250 Mio. €, das BMWi fördert das HGF-Zentrum DLR mit knapp 20 Mio. € pro Jahr.

Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF)

Im Forschungsbereich Energie arbeiten Helmholtz-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an zentralen Herausforderungen der Energieversorgung:

- die Energieversorgung langfristig und nachhaltig sichern,
- ökonomisch und ökologisch tragbare Lösungen erarbeiten,
- kurz- bis mittelfristig geht es um die Senkung des Energieverbrauchs, die Minderung der Importabhängigkeit sowie die Erforschung neuer Speichertechnologien und Möglichkeiten zum Klimaschutz,
- langfristiges Ziel ist die vollständige Substitution begrenzt vorhandener Energieträger durch nachhaltig, dauerhaft und klimaneutral nutzbare Energieträger.

Zur Bearbeitung werden eigene Forschungsprogramme definiert. Aktuell sind für den Energiebereich relevant: Erneuerbare Energien, Rationelle Energieumwandlung und -nutzung, Technologie, Innovation und Gesellschaft, Kernfusion, Nukleare Sicherheitsforschung

6.9.2 Weitere institutionelle Förderung

Neben der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren gibt es weitere Einrichtungen, die durch das BMBF gefördert werden, aber außerhalb des Energieforschungsprogramms Energieforschung betreiben. Zu den wichtigsten Institutionen gehören die Fraunhofer-Gesellschaft, Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften und Leibniz-Gesellschaft.

Fraunhofer-Gesellschaft (FhG)

Die FhG setzt im Energiebereich folgende Schwerpunkte:

- Nachhaltigkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung,
- Energieumwandlung,
- Energie- und Ressourceneffizienz,
- Elektromobilität.

Einen zentralen Beitrag leistet hier die „Fraunhofer-Allianz Energie“, in der mehr als 1500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an diesen Themen arbeiten. Innerhalb der Allianz sind die aktuellen Geschäftsfelder: Erneuerbare Energien, Effizienztechnologien, Gebäude und Komponenten, Intelligente Energienetze sowie Speicher- und Mikroenergietechnik. Darüber hinaus werden gezielt Initiativen, z. B. zum Bereich Ressourceneffizienz, durchgeführt (u. a. Innovationscluster *„Maintenance, Repair and Overhaul“*).

Max-Planck-Gesellschaft (MPG)

Die MPG sieht folgende Kernaufgaben:

- bisherige Energiequellen besser auszuschöpfen,
- neue Energiequellen zu erschließen,
- Energieeffizienz zu steigern,

- Vorräte und Ressourcen der Erde besser zu nutzen,
- Kohlenstoffkreislauf und den Effekt auf das Klima zu verstehen.

Zur Zielerreichung fasst die MPG energierelevante Forschungsbereiche unter dem Dach „Forschungsperspektiven 2010+“ zusammen. Hierzu zählen: Forschen für eine nachhaltige Energieversorgung, komplexe technische Systeme, Kohlenstoffkreislauf im Erdsystem, Katalyseforschung, Aufbruch in die Nanowelt sowie Licht & Materie.

Leibniz-Gesellschaft (WGL)

Innerhalb der WGL bearbeiten renommierte Institute energie- und klimarelevante Fragestellungen. Aktivitäten sind vor allem in den Bereichen „Energie- und Ressourceneffizienz“ und „Materialentwicklung“ konzentriert.

Weitere Schwerpunkte liegen in der Entwicklung von Nachhaltigkeitsstrategien und gesamtwirtschaftlichen Wirkungsanalysen, der Klimafolgenforschung sowie der Entwicklung von Katalysatoren.

Die Bundesregierung erwartet, dass die institutionell geförderte Energieforschung ihren Beitrag zur künftigen Anpassung und grundlegenden Modernisierung der deutschen Energieversorgung leistet. Die institutionell geförderten Forschungskapazitäten werden im Dialog zwischen Forschungseinrichtungen, Bund und Ländern auf aktuelle Forschungsbedarfe ausgerichtet.

Transparente Forschung

Um die größtmögliche Transparenz zu erreichen, wird das BMBF mit den Ressorts eine „Landkarte der Energieforschung“ erarbeiten. Hierzu wird eine systematische Bestandsaufnahme durchgeführt. Parameter sind beispielsweise: Akteure und Ansprechpartner, Forschungskapazitäten und finanzielle Mittel, Themenschwerpunkte und Grad der Vernetzung mit anderen Wissenschafts- und Wirtschaftspartnern. Ein Aspekt ist beispielsweise die Verzahnung von Universitäten und Helmholtz-Instituten.

Ausrichtung der Forschungskapazitäten

Durch Systemanalysen wird das BMBF weitere Forschungsbedarfe ermitteln und diese in die institutionelle Forschungsförderung zur Bearbeitung einbringen. Strukturelle Stärken und Potenziale der Energieforschung, Vernetzungschancen und -notwendigkeiten in Wissenschaft und Wirtschaft sowie der Bedarf an thematischen Wissenschaftsnetzwerken werden aufgezeigt.

Beschleunigte Innovationsprozesse und die Fähigkeit, notwendige Durchbrüche im Energiebereich so schnell wie möglich erzielen zu können, erfordern Brückenschläge zwischen Grundlagenforschung und Anwendung. Sowohl richtungsweisende Pionierforschung als auch rasche Fortschritte in der Kommerzialisierung von Ideen sind wichtiger denn je. Ziel ist es, die Forschungslandschaft auf prioritäre Themen zu fokussieren, Kapazitäten zu bündeln und strukturbildende Impulse für den gesamten Forschungsprozess zu setzen.

Das BMBF wird bei der Formulierung von konkreten forschungspolitischen Vorgaben im Rahmen der programmorientierten Förderung der HGF im Energiebereich mitwirken. Im Rahmen der programmorientierten Förderung (POF) werden in 5-jährigem Rhythmus Forschungsziele für die Helmholtz-Gesellschaft erarbeitet. Die Vorgaben und Ziele orientieren sich an den Themenprioritäten der Bundesregierung, wie sie im Energieforschungsprogramm festgelegt sind.

Das BMBF wird in seinen energierelevanten Bereichen die Projektförderung und institutionelle Förderung stärker als bisher aufeinander abstimmen. Dazu werden neue Formen der Zusammenarbeit in der Energieforschung entwickelt, um vorhandene Kapazitäten zu bündeln, den Transfer von Ergebnissen der Grundlagenforschung in die Praxis zu beschleunigen und eine neue Qualität in der Kooperation zwischen staatlichen, öffentlichen, privaten und institutionell geförderten Einrichtungen zu erreichen. Eine hohe Flexibilität in der Organisation und im Management sowie eine zeitlich befristete Zusammenarbeit sind Kennzeichen dieses neuen Förderansatzes.

Eine hochskalierte und -integrative Projektförderung ist beabsichtigt, die multi- und transdisziplinär ausgerichtet ist. Dabei sollen die jeweils besten Kompetenzen vernetzt werden, die notwendig sind um konkrete Lösungen für aktuelle Herausforderungen im Energiebereich bereitzustellen. Im Fokus stehen zunächst „No Regret"-Forschungsschwerpunkte (u. a. Effizienz, Speichertechnologien). Die Forschungsthemen sollen insbesondere zur CO_2-Reduktion, zu einer Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung und/oder einer Steigerung der Energieproduktivität beitragen.

Das BMBF wird in einen kontinuierlichen, strategischen Programmdialog mit der Wissenschaftslandschaft eintreten. Durch regelmäßige Dialogforen mit institutionell geförderten Forschungseinrichtungen sowie Akteuren der Energieforschungslandschaft wird die Bearbeitung von Themen koordiniert und kohärent ausgestaltet.

Das BMBF unterstützt die „European Energy Research Alliance". In dieser sind führende Energieforschungsorganisationen aus zehn europäischen Ländern zusammengeschlossen. Zusammen verfügen die beteiligten Organisationen im Bereich der Energieforschung über ein Jahresbudget von über 1,3 Mrd. €. Deutschland ist durch Forschungseinrichtungen und Universitäten vertreten. Die Initiative versteht sich als Beitrag zum SET-Plan.

6.10 Haushaltsmittel

Projektförderung BMBF (Tsd. Euro)

	Ist	Soll	Plandaten[1, 2]		
	2010	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**
Energieeffizienz	12.094	15.300	15.800	16.300	12.300
Erneuerbare Energien	16.291	18.700	18.200	17.700	18.623
Nukleare Sicherheits- und Endlagerforschung	9.055	10.000	10.000	10.000	10.000
Fusionsforschung	8.341	11.000	14.000	14.000	11.000
Energie- und Klimafonds	—	15.000	11.500	47.900	61.000
Summe	**45.781**	**70.000**	**69.500**	**105.900**	**112.923**

1 Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
2 Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt

Institutionelle Förderung BMBF: Helmholtz-Gemeinschaft (Tsd. Euro)					
	Ist	Soll	Plandaten[1, 2]		
	2010	2011	2012	2013	2014
Rationelle Energieumwandlung und -nutzung	37.006	37.703	38.358	39.168	39.866
Erneuerbare Energien	40.614	41.483	42.311	43.311	44.335
Nukleare Sicherheitsforschung	29.212	29.741	30.236	30.850	31.478
Kernfusion	135.512	137.148	138.655	140.611	142.599
Technologie, Innovation, Gesellschaft	7.686	7.745	7.793	7.872	7.950
Summe	**250.030**	**253.819**	**257.354**	**261.812**	**266.227**

1 Zahlen Bundeshaushalt stehen unter dem Vorbehalt der Bewilligung durch das Parlament
2 Die Fördermittel für den Energie- und Klimafonds stehen noch unter Vorbehalt

7 Leitfaden für die Projektförderung

Die Projektförderung richtet sich an Unternehmen, Forschungsinstitute und Universitäten. Sie erfolgt in Form von Zuwendungen für Forschungsvorhaben, die im Markt nicht realisierbar sind, bzw. für Projekte, die eine erste praktische Anwendung verbesserter oder neuer Energietechnologien demonstrieren wollen. Die Projektförderung ist ein Instrument zur Unterstützung von thematisch und zeitlich abgegrenzten Vorhaben mit hohem Risiko und von bundesweitem Interesse. Sie wird nur in den Fällen eingesetzt, in denen der Markt in absehbarer Zeit die neuen technischen Entwicklungen nicht von selbst erbringen kann.

Die Projektförderung erfolgt häufig in Form der Verbundforschung, bei der Hochschulen und Forschungsinstitute im Verbund mit Unternehmen vorwettbewerblich zusammenarbeiten. Ziel ist, durch eine arbeitsteilige, übergreifende Bearbeitung komplexer und nur längerfristig zu lösender Problemstellungen bestehende Energietechnologien zu verbessern bzw. neue Energietechnologien zu entwickeln.

7.1 Voraussetzungen

Dieser Leitfaden soll einen ersten Überblick über die Rahmenbedingungen der Förderung geben. Genauere Einzelheiten zu den Fördermodalitäten werden in ressortspezifischen Förderrichtlinien bzw. Förderbekanntmachungen veröffentlicht, die sicherstellen, dass die Fördermittel im öffentlichen Interesse und nach den gesetzlichen Vorgaben verwendet werden.

Die Themen, die gefördert werden können, sind in dem 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ beschrieben. Allerdings können nicht immer alle aufgeführten Themen auf breiter Front gefördert werden. Das Programm gibt jedoch den Rahmen, formuliert die Grundzüge der Förderpolitik und bildet die Basis, auf deren Grundlage die Förderentscheidungen getroffen werden. Ein Rechtsanspruch auf Gewährung einer Zuwendung besteht nicht. Die Bewilligungsbehörde entscheidet aufgrund ihres pflichtgemäßen Ermessens im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel.

Für den Antragsteller ist es wichtig zu beachten, dass die Zuständigkeit für die projektorientierte Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich bei verschiedenen Ministerien liegt (s. Abschnitt 1.4).

Ob das einer Projektidee zugrunde liegende Thema gefördert wird, können im Einzelfall nur die zuständigen Ministerien und die von diesen mit der Umsetzung des Forschungsprogramms beauftragten Projektträger entscheiden. Die Projektträger prüfen jedes beantragte Vorhaben auf seinen Innovationsgehalt sowie fachliche Kompetenz und Bonität des Antragstellers. Darüber hinaus bewerten sie den möglichen Beitrag, den das Vorhaben zu den förderpolitischen Zielen des Energieforschungsprogramms leisten kann. Sind diese Kriterien in allen Punkten in ausreichendem Maße erfüllt, kommt eine Förderung in Betracht. Die endgültige Förderentscheidung fällt das zuständige Ministerium.

Antragsberechtigt sind in Deutschland produzierende Unternehmen – insbesondere KMU –, Hochschulen sowie in Deutschland ansässige außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und andere Institutionen bzw. juristische Personen. Das Vorhaben muss in der Regel in Deutschland durchgeführt und verwertet werden. Ferner müssen Antragsteller grundsätzlich einen Eigenanteil in das Forschungsprojekt einbringen.

7.2 Ressortübergreifende Förderinitiativen

Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht die Entwicklung und Umsetzung von gemeinsamen Förderinitiativen in Schlüsselthemen oder in Bereichen mit ressortübergreifenden Fragestellungen vor (siehe hierzu auch das Kapitel 2). In einem ersten Schritt werden Förderinitiativen zu den Themen „Speicher“ und „Netze“ sowie „Solares Bauen – energieeffiziente Stadt“ durchgeführt. Weitere Förderschwerpunkte für eine ressortübergreifende Zusammenarbeit sind denkbar. Die gemeinsamen Förderinitiativen zeichnen sich durch ein breites Themenspektrum, hohe Komplexität und durch Fragestellungen aus, die eine intensive Zusammenarbeit von Grundlagenforschung, angewandter Forschung und technologischer Entwicklung für eine erfolgreiche Abwicklung der Maßnahme erfordern.

Aus diesem Grund wird für die konkrete Umsetzung der gemeinsamen Initiativen jeweils ein zentrales Programmmanagement vorgesehen. Ein Element des Programmmanagements ist eine gemeinsame Anlaufstelle, die erste fördertechnische Anfragen beantwortet und alle Projektideen entgegennimmt. Die Projektideen werden entsprechend den vorgeschlagenen inhaltlichen Themen den beteiligten Ressorts bzw. den jeweiligen Fördertiteln zugewiesen. Die konkrete Bearbeitung der förmlichen Förderanträge erfolgt in der zweiten Stufe des Verfahrens bei den jeweils den Ressorts zugeordneten Einheiten der Projektträger. Hierdurch vereinfacht sich das Verfahren für den Antragsteller und die Gefahr von Doppelförderung kann bereits in einer frühen Phase des Prozesses vermieden werden.

7.3 Finanzielle Modalitäten der Projektförderung

Die Förderung erfolgt anhand von Zuwendungen. Rechtsgrundlage bildet die Bundeshaushaltsordnung (BHO) zusammen mit den Allgemeinen Verwaltungsvorschriften zur Bundeshaushaltsordnung (VV BHO), in denen die Voraussetzungen und Verfahrensabläufe geregelt sind. Darüber hinaus gilt über den Gemeinschaftsrahmen für staatliche Forschungs- und Entwicklungsbeihilfen auch das europäische Recht. Die Zuwendungen werden in Form von Teilfinanzierungen zur Anteils-, Fehlbedarfs- oder Festbetragsfinanzierung oder – in Ausnahmefällen – auch zur Vollfinanzierung eines Projektes gewährt.

Bei Antragstellern aus öffentlichen Einrichtungen sind die Projektausgaben Bemessungsgrundlage für die Höhe der Förderung. Bei Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft bilden die Projektkosten einschließlich der Gemeinkosten die Basis für die Förderung.

Die Förderquoten können maximal die durch den Gemeinschaftsrahmen für staatliche Beihilfen für Forschung, Entwicklung und Innovation der Europäischen Union vorgegebene Höhe annehmen, die z. B. bei anwendungsorientierten Projekten, wie sie in der Regel von Industrieunternehmen durchgeführt werden, 50 % der Kosten beträgt. Universitäten können mit einer Förderquote bis zu 100 % unterstützt werden. Ausschlaggebend für die Höhe der Förderquote sind nach dem Grundsatz des wirtschaftlichen und sparsamen Umgangs mit öffentlichen Mitteln auch das technisch-wissenschaftliche Risiko und das Bundesinteresse, das dem Vorhaben beigemessen wird.

7.4 Durchführung eines Projektes

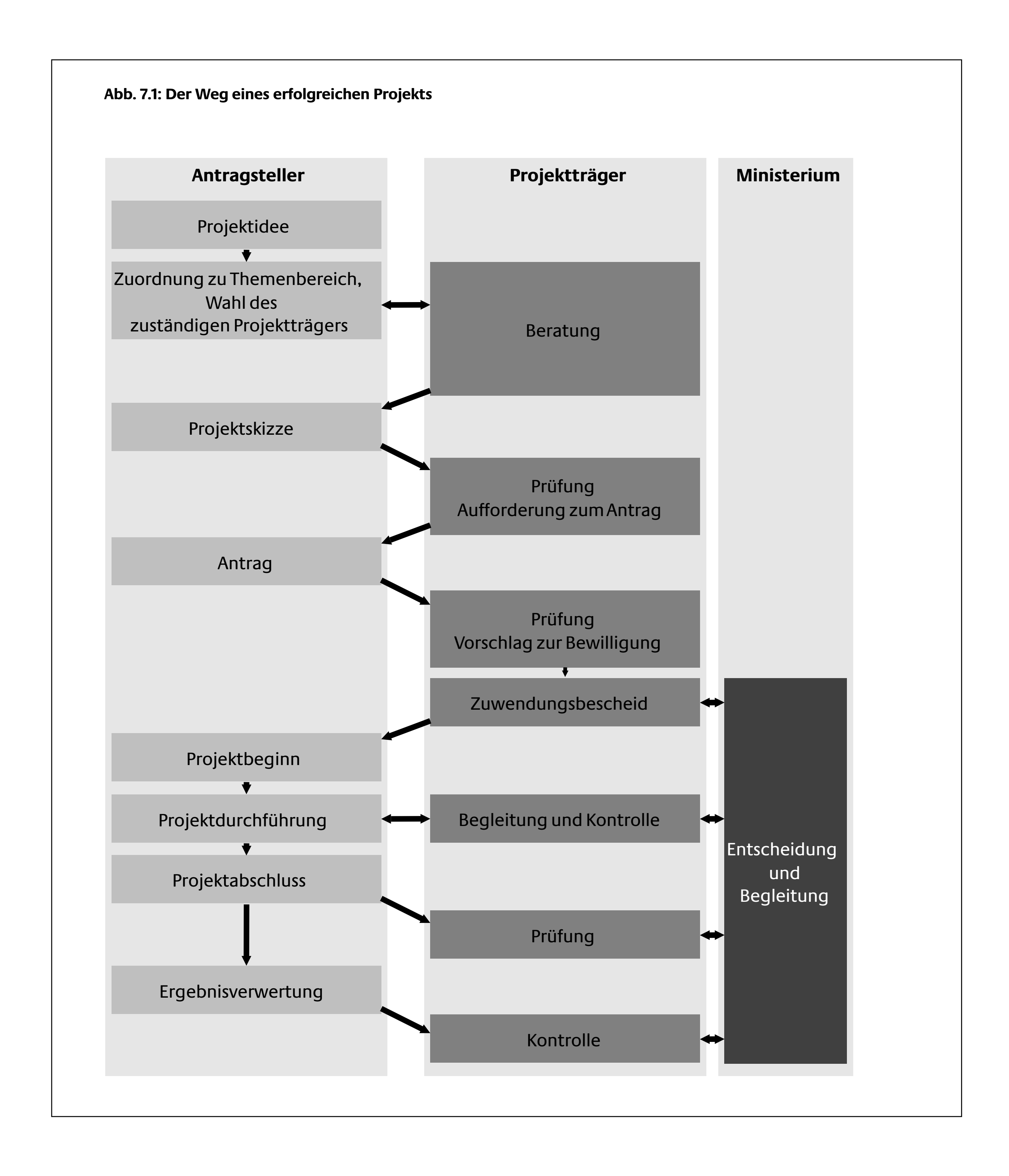
Ein besonderes Anliegen der Bundesregierung ist es, Antragsteller ausführlich und kompetent über die Fördermöglichkeiten im Rahmen des Energieforschungsprogramms zu beraten. Eine erste Adresse für eine solche Beratung sind die Projektträger, die im Auftrag der jeweils zuständigen Ministerien mit der Umsetzung und Durchführung dieses Forschungsprogramms beauftragt sind (Übersicht der Projektträger und Hinweise zu weiteren Informationsstellen siehe Abschnitt 7.6).

Die Projektträger betreuen und begleiten die Projekte sowohl fachlich als auch administrativ von der ersten Kontaktaufnahme des Antragstellers über die Antragsgestaltung, Antragsprüfung, Förderentscheidung, Mittelauszahlung, Erfolgskontrolle, Schlussabrechnung bis zur Verwertung der Ergebnisse. Der Verlauf eines erfolgreichen Projektes von der Idee bis zur Ergebnisverwertung ist in Abb. 7.1 schematisch dargestellt.

7.5 Ergebnisverwertung

Notwendige Voraussetzung für den Erfolg eines Projektes ist die Sicherstellung der bestmöglichen Verwertung der Ergebnisse. Die Förderrichtlinien sehen deshalb bereits bei Antragstellung eine genaue Darlegung der späteren Verwertung der Ergebnisse in Form eines Verwertungsplans vor. Der Projektdurchführende ist verpflichtet, eine Umsetzung dieses Verwertungsplans anzustreben. Als Gegenleistung erhält er die Rechte an der ausschließlichen Nutzung der Ergebnisse. Allerdings muss er bei Forschungsprojekten, bei denen eine gewerbliche Nutzung zu erwarten ist, gewährleisten, dass die erzielten Ergebnisse schutzrechtlich gesichert werden, denn es liegt im besonderen Interesse der Projektförderung, dass patentfähiges neues Wissen nach Möglichkeit zur Patentierung angemeldet wird. Die damit verbundenen Kosten sind bei kleinen und mittelständischen Unternehmen und öffentlichen Forschungseinrichtungen förderfähig. Darüber hinaus besteht eine generelle Veröffentlichungspflicht in Form von Konferenz- und/oder Fachliteraturbeiträgen.

Abb. 7.1: Der Weg eines erfolgreichen Projekts



7.6 Liste der Projektträger

Änderungen während der Programmlaufzeit sind vorbehalten, da Projektträgerschaften in der Regel ausgeschrieben werden.

Energietechnologien einschl. Grundlagenforschung

Projektträger Jülich (PtJ)
Geschäftsbereich ERG
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich
Tel.: 02461 61-4624, Fax: 02461 61-2880
PTJ-ERG@fz-juelich.de, www.ptj.de

Erneuerbare Energien

Projektträger Jülich (PtJ)
Geschäftsbereich EEN
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich
Tel.: 02461 61-3172, Fax: 02461 61-2840
PTJ-EEN@fz-juelich.de, www.ptj.de

Nukleare Sicherheitsforschung

PT Reaktorsicherheit
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Postfach 10 15 64, 50455 Köln
Tel.: 0221 2068-720, Fax: 0221 2068-629
reinhard.zipper@grs.de, www.grs.de

Nukleare Endlagerforschung, Nukleare Sicherheitsforschung und Strahlenforschung

Projektträger des BMBF und BMWi für Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe
Tel.: 0721 608-25790, Fax: 0721 608-925790
www.ptka.kit.edu

Bioenergie

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
Hofplatz 1, 18276 Gülzow
Tel.: 03843 6930-0, Fax: 03843 6930-102
info@fnr.de, www.fnr.de

8 Anhang

8.1 Weitere Informationsstellen

Förderberatung „Forschung und Innovation“ des Bundes

Projektträger Jülich (PtJ)
Forschungszentrum Jülich GmbH
Zimmerstraße 26–27, 10969 Berlin
Fax: 030 201 99-4 70

Beratungstelefon Forschungs- und Innovationsförderung
0800 2623-008 (kostenfrei)

Lotsendienst für Unternehmen
0800 2623-009 (kostenfrei)

beratung@foerderinfo.bund.de
www.foerderinfo.bund.de

NOW GmbH

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstraße 5, 10623 Berlin
Tel.: 030 311 61 16-00
Fax: 030 311 61 16-99
kontakt@now-gmbh.de
www.now-gmbh.de

8.2 Umrechnungsfaktoren

Zieleinheit / Ausgangseinheit	PJ	Mio. t SKE	Mio. t RÖE	TWh
Petajoule (PJ)	1	0,034	0,024	0,278
Mio. t Steinkohle-einheiten (SKE)	29,308	1	0,7	8,14
Mio. t Rohöl-einheiten (RÖE)	41,869	1,429	1	11,63
Terawattstunde (TWh)	3,6	0,123	0,0861	1

8.3 Abkürzungsverzeichnis

AC Alternate Current
AGEE-Stat Arbeitsgruppe Erneuerbare Energie-Statistik
APU Auxiliary Power Unit
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BIPV Building Integrated Photovoltaics
BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BHKW Blockheizkraftwerk
BHO Bundeshaushaltsordnung
BImSchV Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMELV Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMF Bundesministerium der Finanzen
BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CAES Compressed Air Energy Storage
CCS Carbon Capture and Storage
CdTe Cadmiumtellurid
CEM Clean Energy Ministerial
CEP Clean Energy Partnership
CERT Committee on Energy Research and Technology
CIS Chalkopyrit-Dünnschichtzellen
CO_2 Kohlendioxid
COORETEC CO_2-Reduktions-Technologien
CSLF Carbon Sequestration Leadership Forum
CSP Concentrated Solar Power
D Deutschland
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
DC Direct Current
DII Desertec Industrial Initiative
DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DSK Doppelschichtkondensator
DSTTP Deutsche Solarthermie-Technologie-Plattform

ECBCS	Energy Conservation in Buildings and Community Systems
ECES	Energy Conservation through Energy Storage
EduaR&D	Energie-Daten und Analyse R&D
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEGI	European Electricity Grid Initiative
EERA	European Energy Research Alliance
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz
EFZN	Energieforschungszentrum Niedersachsen
EIBI	European Industrial Bioenergy Initiative
EJ	Exajoule
EKF	Energie- und Klimafonds
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnOB	Energieoptimiertes Bauen
EPBD	Europäische Gebäuderichtlinie
Epl	Einzelplan
ESNII	European Sustainable Nuclear Industrial Initiative
ETSAP	Energy Technology Systems Analysis Programme
EU	Europäische Union
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
EV	vollelektrische Fahrzeuge
FACTS	flexible Wechselspannungssysteme
FAME	Fettsäuremethylester
FCH JU	Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
FuE	Forschung und Entwicklung
GaAsP	Galliumarsenidphosphid
GaInP	Galliumindiumphosphid
Gen	Generation
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
GT	Gasturbine
GuD	Gas und Dampf
GW	Gigawatt
H2	Wasserstoff
HDR	Hot Dry Rock
HGF	Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
HT	Hochtemperatur
HVO	hydrotreated vegetable oil
IAEO	Internationale Atom-Energie-Organisation
IBP	Institut für Bauphysik (Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.)
IEA	Internationale Energieagentur
IGD-TP	Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform
IGHD	Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IMAB	Institut für elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen
IPHE	International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy
IRENA	International Renewable Energy Agency
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
ISGAN	International Smart Grid Action Network
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor
KEK	Kompetenzerhalt Kerntechnik
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KKW	Kernkraftwerk
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
kW	Kilowatt
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LED	light-emitting diode
Li	Lithium
LowEx	Niedrigexergie
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
MEA	Membrane Electrode Assembly
MENA	Mittlerer und Naher Osten
MPG	Max-Planck-Gesellschaft
MW	Megawatt
NaS	Natrium-Schwefel-Zelle
NEA	Nuclear Energy Agency
NE-Metall	Nichteisenmetall
NEP	Nationaler Entwicklungsplan Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien
NiCD	Nickel-Cadmium-Akkumulator
NiMH	Nickel-Metallhydrid-Akkumulator
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellen

NOW	Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellen
NT	Niedertemperatur
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
ORC	Organic Rankine Cycle
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
PCM	Phase Change Material
PCS	Phase Change Slurries
PEM	Proton Exchange Membrane
PHEV	Plug-In Hybrids
PJ	Petajoule
POF	Programmorientierte Förderung
PT	Projektträger
PtJ	Projektträger Jülich
PTKA-WTE	Projektträger des BMBF und BMWi für Wassertechnologie und Entsorgung
PV	Photovoltaik
P&T	Partitionierung und Transmutation
Q	Quartal
RAVE	Research at alpha ventus
RÖE	Rohöleinheit
RS	Reaktorsicherheit
R&D	Research and Development
SEII	Solar Europe Industry Initiative
SETIS	Strategic Energy Technologies Information System
SET-Plan	Strategischer Energietechnologieplan
SH&C	Solar Heating and Cooling
SKE	Steinkohleeinheit
SMES	Supraleitende Magnetische Energiespeicher
SNG	Synthetic Natural Gas
SÖF	sozio-ökologische Forschung
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
STEII	Solar Thermal Electricity Industrial Initiative
TW	Terawatt
VPE	Vernetztes Polyethylen
WEA	Windenergieanlage
WGL	Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz
WSVO	Wärmeschutzverordnung
WTZ	wissenschaftliche und technologische Zusammenarbeit

Gesamtherstellung: H. Heenemann GmbH & Co., Buch- und Offsetdruckerei, Bessemerstraße 83–91, 12103 Berlin, www.heenemann-druck.de
Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 05 34, 50445 Köln, Telefon (02 21) 97 66 83 40, Fax (02 21) 97 66 83 44, www.betrifft-gesetze.de
ISSN 0722-8333